



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (5G) ΣΕ

ΕΞΥΠΝΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Λάμπρης Κωνσταντίνος

10^ο εξάμηνο AM 1675 Email th11816080@uoi.gr

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΟΡΜΠΙΑΤΖΟΓΛΟΥ

ΑΝΤΡΕΑΣ

Τόπος έκδοσης: ΑΡΤΑ

Μήνας: Σεπτέμβριος

Έτος ολοκλήρωσης: 2023

USE OF FIFTH GENERATION (5G) NETWORKS IN **SMART INDUSTRIAL APPLICATIONS**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

ΑΡΤΑ, 26/10/2023

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Τσορμπατζόγλου Ανδρέας

2. Μέλος επιτροπής

Αγγέλης Κωνσταντίνος

3. Μέλος επιτροπής

Χαριλόγης Βασίλειος

© Λάμπρης Κωνσταντίνος, 2023.

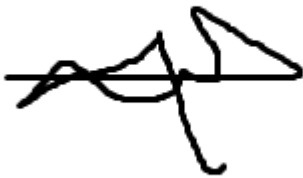
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Χρήση των δικτύων πέμπτης γενιάς (5G) σε έξυπνες βιομηχανικές εφαρμογές

Δήλωση περί μη λογοκλοπής

Δηλώνω ότι είμαι ο συγγραφέας της παρούσας πτυχιακή εργασίας που συντάχθηκε στα πλαίσια της απόκτησης πτυχίου και παραδόθηκε το μήνα Ιούνιο του 2023. Η αναφερόμενη εργασία δεν αποτελεί αντιγραφή ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται σαφώς στη βιβλιογραφία και στο κείμενο ενώ κάθε εξωτερική βοήθεια, αν υπήρξε, αναγνωρίζεται ρητά.

Λάμπρης Κωνσταντίνος



Περίληψη

Η έλευση των τεχνολογιών πέμπτης γενιάς (5G) διευκολύνει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση διαφορετικού εξοπλισμού και μηχανημάτων, προωθώντας έτσι ένα ευρύ φάσμα κάθετων εφαρμογών. Αυτή η μετασχηματιστική εξέλιξη αποδίδει σημαντικές βελτιώσεις στην ποιότητα των υπηρεσιών, τη χωρητικότητα του δικτύου και την απόδοση του συστήματος. Κατά συνέπεια, το παγκόσμιο τοπίο υφίσταται μετάβαση προς την υιοθέτηση ασύρματων δικτύων πέμπτης γενιάς (5G). Λόγω της ικανότητάς τους να υποστηρίζουν ποικίλες κάθετες εφαρμογές, τα συστήματα 5G αντιμετωπίζουν διάφορες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως η διαφάνεια, οι πιθανότητες διαλειτουργικότητας δεδομένων, η αποκέντρωση και το απόρρητο του δικτύου. Αυτό το επιστημονικό χειρόγραφο έχει ως στόχο να διαφωτίσει τις

δυνατότητες της τεχνολογίας blockchain για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που αντιμετωπίζονται στο πεδίο των δικτύων 5G. Επιπλέον, θα εμβαθύνει στις καινοτόμες προτάσεις που διατυπώνονται από επιμελείς ερευνητές για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, που περιλαμβάνουν την κοινή χρήση πόρων, την ασφάλεια και την κινητικότητα.

Λέξεις-κλειδιά: Δίκτυο 5g, βιομηχανικές εφαρμογές, χρήσεις 5G , blockchain

Abstract

Fifth-generation (5G) technologies enable a wide range of vertical applications by connecting heterogeneous equipment and machines, resulting in significantly improved service quality, increased network capacity, and improved system performance. As a result, the world is shifting to 5G wireless networks. Because 5G has the advantage of supporting various vertical applications, 5G systems must still overcome challenges such as transparency, data interoperability probabilities, decentralization, and network privacy. In this paper, we'll show how blockchain can be used to solve problems in 5G, as well as some of the idea's researchers, have come up with to solve them, like resource sharing, security, and mobility.

Keywords: 5g network, industrial applications, 5G uses, blockchain

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	3
Abstract.....	4
Εισαγωγή	7

1. Εξέλιξη από 1G σε 5G.....	8
1.1 Σύγκριση 5G με προηγούμενες γενιές.....	9
2. Τα δίκτυα 5 ^{ης} γενιάς.....	11
2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά	11
2.2 Αρχιτεκτονική 5G	13
2.3 Τεχνολογίες δικτύων 5 ^{ης} γενιάς	15
2.4 Εφαρμογές 5G	18
2.5 Μειονεκτήματα και ανησυχίες	20
3. Χρήσεις 5G	22
3.1 Έξυπνες πόλεις.....	22
3.2 Ενέργεια.....	23
3.3 Υγειονομική περίθαλψη.....	23
3.4 Βιομηχανία.....	24
3.5 Έξυπνες Μεταφορές.....	25
4. Ο Βιομηχανικός κλάδος και δίκτυα 5 ^{ης} γενιάς.....	28
4.1 Βιομηχανικός αυτοματισμός.....	28
4.2 Επαυξημένη πραγματικότητα	29
4.3 Συνεργατικά ρομπότ.....	30
4.4 Έξυπνο γραφείο	31
5. 5g σε έξυπνες βιομηχανικές εφαρμογές	32
5.1 Σχετικές έρευνες.....	48
5.2 Παραδείγματα εφαρμογών	50
Συμπεράσματα	62
Βιβλιογραφία	68

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Γενική Αρχιτεκτονική 5G. 5GPPP Architecture Working Group, “view on 5G architecture,” White Pap **σελ.14**

Εικόνα 2: Βιομηχανικός αυτοματισμός. Algosystems **σελ 29**

Εικόνα 3: AR στη βιομηχανία. Startupper **σελ 30**

Εικόνα 4: Συνεργατικά ρομπότ. ABB **σελ 31**

Εικόνα 5: Έξυπνος χώρος εργασίας. Industrynews.gr **σελ 32**

Εικόνα 6: 5g σε έξυπνη βιομηχανική εφαρμογή. Wake Industrial **σελ 33**

Εικόνα 7: Βιομηχανικές συσκευές 5g. EDN Asia **σελ 34**

Εικόνα 8: Λύσεις με το 5g. Prose Technologies **σελ 36**

Εικόνα 9: Υπολογιστικό νέφος. Χώρος Μάθησης **σελ 38**

Εικόνα 10: SDN και 5g. Research Gate **σελ 39**

Εικόνα 11: 5g και blockchain. MDPI **σελ 41**

Εικόνα 12:Blockchain στο 5g.Science Direct **σελ 48**

Εικόνα 13: Συσκευή 5g. Xiaomitoday.it **σελ 52**

Εικόνα 14: Κινητά ρομπότ. Fierce Wireless **σελ 53**

Εισαγωγή

Ένα ασύρματο δίκτυο είναι ένα δίκτυο στο οποίο οι χρήστες και τα στοιχεία που απαρτίζουν το δίκτυο μπορούν να επικοινωνούν εξ ολοκλήρου ή εν μέρει χωρίς τη χρήση καλωδίων. Τα ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται ως φορείς πληροφοριών στα ασύρματα δίκτυα. Η ευελιξία είναι ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα ενός ασύρματου δικτύου, δεδομένου ότι επιτρέπει τη μετακίνηση των χρηστών και εξαλείφει την ανάγκη για καλώδια για τη σύνδεση των τερματικών. Τα ακόλουθα είναι παραδείγματα ασύρματων δικτύων:

- Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.
- Επικοινωνίες μέσω δορυφόρου.
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) σημαίνει ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα.
- WLAN, ή ασύρματα τοπικά δίκτυα.
- WPANs είναι τα ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής.
- Τα WWANs (ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής) είναι μια πρόσφατη εφεύρεση (Gupta, 2015).

Οι βάσεις για τις σύγχρονες επικοινωνίες τέθηκαν από τον Ιταλό εφευρέτη G. Marconi. Εφηύρε τις ασύρματες επικοινωνίες στέλνοντας το γράμμα "S" σε κώδικα Morse σε απόσταση 3 χιλιομέτρων χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Οι ασύρματες επικοινωνίες θα γίνουν κοινός τόπος τόσο στη σημερινή όσο και στην αυριανή ζωή. Ο τρόπος λειτουργίας του σύγχρονου πολιτισμού μας έχει επηρεαστεί από το ραδιόφωνο, την τηλεόραση και τις δορυφορικές επικοινωνίες. Καθώς οι ασύρματες τεχνολογίες εξελίσσονται, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, η κινητικότητα και η φασματική αποδοτικότητα θα αυξηθούν (Gupta, 2015).

Η μεταγωγή κυκλώματος χρησιμοποιείται από τις τεχνολογίες δικτύων κινητής τηλεφωνίας πρώτης γενιάς (1G) και δεύτερης γενιάς (2G), ενώ τόσο η μεταγωγή κυκλώματος όσο και η μεταγωγή πακέτων χρησιμοποιούνται από τις τεχνολογίες τρίτης γενιάς (3G) και 2,5G. τον ίδιο τρόπο που οι τεχνολογίες 3,5G έως 5ης γενιάς (5G) που διαδέχονται τις τεχνολογίες και οι προηγούμενες τεχνολογίες είναι παρόμοιες. Οι τεχνικές μεταγωγής και η ιδιοκτησία φάσματος χρησιμοποιούνται για τη διάκριση μεταξύ αδειοδοτημένων και μη αδειοδοτημένων κυμάτων αέρα. Ενώ το μη αδειοδοτημένο φάσμα χρησιμοποιείται από τεχνολογίες όπως το Wi-Fi, το Bluetooth και το WiMax, όλες οι μεταγενέστερες γενιές χρειάζονται αδειοδοτημένο φάσμα (Gupta, 2015).

1. Εξέλιξη από 1G σε 5G

Όλες οι ασύρματες επικοινωνίες χρησιμοποιούσαν αναλογικά συστήματα με διαμόρφωση μονοδιάστατη (SSB) πριν από την έλευση των δικτύων πρώτης γενιάς (Kagermann & Helbig, 2013).

Δίκτυα 1ης Γενιάς (1983). Η Bell Labs αποφάσισε να χρησιμοποιήσει αναλογικές τεχνολογίες το 1966 για ένα κινητό σύστημα μεγάλης χωρητικότητας λόγω του υψηλού κόστους των ψηφιακών ραδιοσυστημάτων.

Δίκτυα 2ης Γενιάς 2G (1990). Η παγκόσμια τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας (GSM) στην Ευρώπη χρησιμοποιούσε πολυπλεξία TDMA (Time Division Multiple Access) και ήταν μια ψηφιακή τεχνολογία. Κανένας ερευνητικός οργανισμός (όπως τα Bell Labs) δεν μπόρεσε να αναπτύξει ένα ανώτερο σύστημα 2G, όπως έκανε για το σύστημα 1G στη Βόρεια Αμερική από τότε που η AT&T (American Telephone and Telegraph Company) πωλήθηκε το 1980. Τότε, το GSM ήταν γνωστό ως 2G. Με τη

μετάβαση από το 1G στο 2G έλαβε χώρα μια σημαντική μετάβαση από το αναλογικό στο ψηφιακό σύστημα (Kagermann & Helbig, 2013).

Στο 2.5G (1995), όλες οι ασύρματες επικοινωνίες επικεντρώνονται κυρίως στη φωνή υψηλής χωρητικότητας με περιορισμένη υπηρεσία δεδομένων.

3G Δίκτυα 3ης γενιάς (1999): Αυτή η γενιά προσφέρει ασύρματες συνδέσεις φωνής και δεδομένων. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές συστημάτων, το 3G είναι το πρώτο σύστημα που η ITU (Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών) εξέδωσε ως διεθνές πρότυπο. Το πρότυπο 3G χρησιμοποιεί την πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα ευρείας ζώνης (WCDMA), η οποία έχει εύρος ζώνης 5 MHz. Έτσι, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μετακίνηση από τα συστήματα που βασίζονται στη φωνή στα συστήματα που βασίζονται στα δεδομένα πραγματοποιήθηκε κατά την αντικατάσταση των συστημάτων 2G από τα συστήματα 3G (Kagermann & Helbig, 2013).

Από το 2013 υπάρχουν δύο δίκτυα 4G. ο Το σύστημα LTE (Long Term Evolution) αναπτύχθηκε μετά την τεχνολογία WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), η οποία αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το εύρος ζώνης κάθε συστήματος είναι 20 MHz. Επομένως, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μετάβαση από το 3G στο 4G συμβολίζει τη μετάβαση από τις αργές ταχύτητες δεδομένων για το κινητό βίντεο στις γρήγορες ταχύτητες δεδομένων για το Διαδίκτυο (Hermann et al., 2015).

Οι οργανισμοί τυποποίησης εξακολουθούν να συντάσσουν τον επίσημο ορισμό του 5G για το 2021. Αυτό το σύστημα δεδομένων αιχμής έχει πολύ αυστηρές απαιτήσεις χωρητικότητας και ταχύτητας (Hermann et al., 2015).

1.1 Σύγκριση 5G με προηγούμενες γενιές

- Τα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας πέμπτης γενιάς δημιουργήθηκαν ως απάντηση στις προκλήσεις και τις απαιτήσεις που προέκυψαν από τις γρήγορες τεχνολογικές αλλαγές, τις οποίες τα δίκτυα τέταρτης γενιάς δεν μπόρεσαν να αντιμετωπίσουν. Ορισμένα από αυτά τα κριτήρια περιλαμβάνουν αυξημένη χωρητικότητα, αυξημένο ρυθμό μετάδοσης, μειωμένη καθυστέρηση, μαζική συνδεσιμότητα συσκευών και φυσικά μειωμένο κόστος. Είναι απαραίτητο, κατά τη γνώμη μου, να

γίνουν διακρίσεις μεταξύ του 5G και των παλαιών δικτύων και να εξηγηθεί γιατί είμαστε σήμερα προετοιμασμένοι για τη νέα γενιά. Στην πραγματικότητα, η χρήση των ασύρματων επικοινωνιών έχει αυξηθεί σε επίπεδα που δεν μπορούσαμε ποτέ να φανταστούμε ότι είναι δυνατά. Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούνται πλέον για τη σύνδεση διαφόρων ειδών υπολογιστών μεταξύ τους (Brody et al., 2010).

Οι κύριες διαφορές μεταξύ των κινητών δικτύων 4G και 5G είναι οι εξής:

- Τα δίκτυα 5G προσφέρουν ευρυζωνική ασύρματη συνδεσιμότητα για το Διαδίκτυο των πραγμάτων εκτός από το κινητό διαδίκτυο.
- Τα δίκτυα 4.5G (LTE Advanced) αύξησαν την απόδοση δεδομένων σε σύγκριση με το 4G.
- Τα δίκτυα 4G έφεραν υπηρεσίες all-IP (φωνή και δεδομένα), γρήγορη ευρυζωνική σύνδεση στο διαδίκτυο και ενοποιημένες τοπολογίες και πρωτόκολλα δικτύου.
- Η πλήρως πανταχού παρούσα εμπειρία κινητού διαδικτύου που παρείχαν τα δίκτυα 3,5G είναι αυτό που έκανε βιώσιμα τα οικοσυστήματα κινητών εφαρμογών (Wagner et al., 2017).
- Παρά το γεγονός ότι τα δίκτυα 3G βελτίωσαν την εμπειρία του κινητού διαδικτύου, οι υπηρεσίες δεδομένων άργησαν να διαδοθούν.
- Τα δίκτυα 2,5G και 2,75G, αντίστοιχα, παρουσίασαν εξελίξεις στις υπηρεσίες δεδομένων με τη χρήση των GPRS (General Packet Radio Service) και EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution).
- Τα δίκτυα 2G επέτρεψαν ψηφιακές κυψελοειδείς υπηρεσίες φωνής, βασικές υπηρεσίες δεδομένων (SMS, περιήγηση στο Διαδίκτυο WAP) και υπηρεσίες περιαγωγής δικτύου.
- Λόγω των δικτύων 1G, οι αναλογικές υπηρεσίες φωνής είναι πλέον κινητές (Wagner et al., 2017).

2. Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς

2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Στη ζώνη υψηλών συχνοτήτων του ασύρματου φάσματος, περίπου μεταξύ 30 και 300 GHz, θα λειτουργεί το δίκτυο 5G. Η μεγαλύτερη ταχύτητα και το μεγαλύτερο εύρος ζώνης προκύπτουν από την υψηλότερη συχνότητα. Αυτό το φάσμα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων επιτρέπει εξαιρετικά γρήγορη μεταφορά δεδομένων, ωστόσο επειδή τα δίκτυα 4G λειτουργούν σε χαμηλές συχνότητες, τα δεδομένα δεν μπορούν να φτάσουν τόσο μακριά όσο μπορούν σε αυτό το φάσμα. Λόγω της αυξημένης χωρητικότητας της νέας τεχνολογίας, περισσότερες συσκευές θα μπορούν να συνδέονται στο ίδιο δίκτυο ταυτόχρονα. Ο τεράστιος όγκος δεδομένων που μετέδιδαν οι συσκευές δεν μπορούσε να αντιμετωπιστεί από το προηγούμενο δίκτυο. Χάρη στο 5G, δεν θα υπάρχει πλέον καθυστέρηση μεταξύ των συσκευών και του διακομιστή. Ωστόσο, αυτό σημαίνει ότι οι υπάρχοντες πάροχοι ασύρματου διαδικτύου θα πρέπει να αντικαταστήσουν και να πολλαπλασιάσουν τις κεραίες, τοποθετώντας αυτές τις κεραίες σε κάθε φανάρι, σε κάθε πλευρά ενός κτιρίου και ίσως ακόμη και σε κάθε δωμάτιο, προκειμένου να αναπτύξουν το 5G και να έχουν την ίδια κάλυψη (Pereira & Romero, 2017).

Τα σημερινά δίκτυα 4G, ωστόσο, είναι διαφορετικά επειδή τα εμπόδια αποτελούν λιγότερο πρόβλημα και οι κεραίες μπορούν να τοποθετηθούν σε απόσταση η μία από την άλλη. Ως αποτέλεσμα, φαίνεται ότι ακόμη και όταν υλοποιηθεί το δίκτυο πέμπτης γενιάς, δεν θα αντικαταστήσει τον προκάτοχό του αλλά θα τον συμπληρώσει, τουλάχιστον τα πρώτα χρόνια της διαθεσιμότητας και χρήσης του. Στην κινητή τηλεφωνία χρησιμοποιούνται ραδιοσυχνότητες, οι οποίες διαχωρίζονται σε ζώνες και καθεμία από τις οποίες έχει διακριτά χαρακτηριστικά. Σε αντίθεση με το δίκτυο 4G, το οποίο χρησιμοποιεί ραδιοσυχνότητες κάτω των 6 GHz, το δίκτυο 5G θα χρησιμοποιεί ζώνες με υψηλότερες συχνότητες (30-90 GHz), με μήκη κύματος που συχνά αναφέρονται ως κύματα χιλιοστού (mmWaves) επειδή είναι μεταξύ 1 και 10 χιλιοστών (mm).

Δεδομένου ότι η συχνότητα και το μήκος κύματος έχουν αντίστροφη σχέση, η υψηλή συχνότητα αντιστοιχεί σε μικρότερο μήκος κύματος. Τα μικρότερα μήκη κύματος επιτρέπουν τη μετάδοση περισσότερων δεδομένων, καθιστώντας το 5G έως και 10 φορές ταχύτερο από το 4G στα 10 Gb/s, διατηρώντας παράλληλα μηδενική

καθυστέρηση. Για παράδειγμα, αντί να χρειάζονται πέντε λεπτά για τη λήψη ενός μεγάλου αρχείου, αυτό γίνεται τώρα σε τριάντα δευτερόλεπτα. Αυτό καθίσταται εφικτό επειδή κάθε σταθμός εκπομπής θα διαθέτει πρόσθετες κεραίες, οι οποίες θα του επιτρέπουν να στέλνει περισσότερα δεδομένα. Δυστυχώς, υπάρχει ένα σημαντικό ζήτημα. Το σήμα είναι επίσης πιο ευάλωτο στο θόρυβο λόγω του μικρότερου μήκους κύματος. Με άλλα λόγια, οι πληροφορίες αλλοιώνονται εύκολα από εμπόδια και δεν μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις. Σε σύγκριση με το 4G, το οποίο μπορεί να ταξιδέψει έως και 16 χιλιόμετρα, τα χιλιοστομετρικά κύματα του 5G έχουν εμβέλεια μικρότερη από μισό χιλιόμετρο. Ακόμη και η βροχή μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητά τους, επειδή δεν έχουν την ισχύ να περάσουν μέσα από τοίχους (Pereira & Romero, 2017).

Η εγκατάσταση σταθμών σε διάφορες τοποθεσίες θα επιτρέψει στο σήμα να ταξιδέψει μεταξύ τους και γύρω από τα εμπόδια. Αυτοί οι σταθμοί είναι μικρότεροι και απλούστεροι για να τοποθετηθούν σε διάφορες τοποθεσίες στην πόλη, όπως στην κορυφή στηλών, σε αντίθεση με τους τεράστιους πύργους που έχουμε συνηθίσει να βλέπουμε σε μεγάλα ύψη. Η διαμόρφωση δέσμης καθίσταται δυνατή με την παρουσία πολλών μικρών σταθμών βάσης. Ως εκ τούτου, πολλοί μικροί τέτοιοι σταθμοί θα εκπέμπουν ένα σήμα που κατευθύνεται προς το στόχο, σαν μια ευθεία γραμμή, σε αντίθεση με έναν μεγάλο σταθμό που εκπέμπει παντού στο χώρο. Το αποτέλεσμα θα είναι λιγότερες παρεμβολές, χαμηλότερη χρήση ισχύος και υψηλότερες ταχύτητες. Το 5G χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικές ζώνες φάσματος για να λειτουργήσει, σε αντίθεση με το LTE. Παρόλο που μπορεί να μη φαίνεται πολύ, αυτό θα αλλάξει δραστικά τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείτε τα πράγματα σε καθημερινή βάση. Το φάσμα κάτω του 1 GHz είναι ένα άλλο όνομα για το φάσμα χαμηλής ζώνης. Το φάσμα χαμηλής ζώνης παρέχει βαθιά διείσδυση μέσα από τοίχους και ευρεία περιοχή κάλυψης (Gilchrist, 2016).

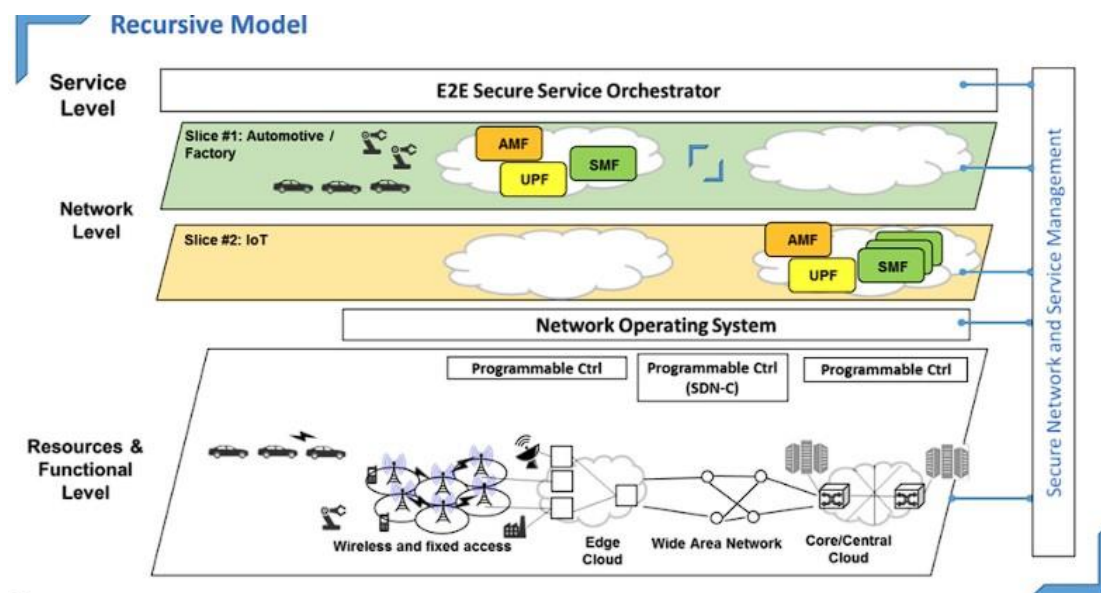
Οι μέγιστοι ρυθμοί δεδομένων θα ξεπεράσουν τα 100Mbps. Σε σύγκριση με τη χαμηλή ζώνη, η μεσαία ζώνη προσφέρει ταχύτερες ταχύτητες και χαμηλότερη καθυστέρηση. Αλλά σε σύγκριση με το φάσμα χαμηλής ζώνης, είναι λιγότερο αποτελεσματικό στη διείσδυση σε δομές. Στο φάσμα της μεσαίας ζώνης προβλέπονται μέγιστοι ρυθμοί έως και 1Gbps. Οι μέγιστες επιδόσεις για το 5G παρέχονται από το φάσμα υψηλής ζώνης, αλλά υπάρχουν σημαντικά μειονεκτήματα. συχνά αποκαλούμενο mmWave. Η ζώνη υψηλών συχνοτήτων έχει εξαιρετικά χαμηλή

καθυστέρηση και μπορεί να παρέχει μέγιστες ταχύτητες έως και 10Gbps. Η χαμηλή διείσδυση σε κτίρια και η περιορισμένη περιοχή κάλυψης της υψηλής ζώνης είναι τα βασικά μειονεκτήματά της. Είναι προφανές ότι η αρχιτεκτονική του δικτύου, όπως την ξέρουμε σήμερα, πρέπει να αναδιοργανωθεί προκειμένου να φιλοξενήσει πολλά "εικονικά" δίκτυα σε μια ενιαία φυσική υποδομή (Gilchrist, 2016). Ως αποτέλεσμα, θα μπορέσει να σχηματιστεί ένα προγραμματιζόμενο δίκτυο, με πολλές από τις δυνατότητές του να υλοποιούνται με αλλαγές στον κώδικα.

Με βάση αυτό το σκεπτικό, οι ερευνητές έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι το 5G θα πρέπει να καθοδηγείται από την εικονικοποίηση ή την εικονικοποίηση του δικτύου και όχι απλώς από τη διατήρηση της τρέχουσας φυσικής υποδομής. Αυτή η τακτική θα επιβάλει σημαντικές αλλαγές στη ρύθμιση του δικτύου και στη διαχείριση των πόρων, καθώς θα ανοίξει νέους δρόμους για την αντιμετώπιση των ολοένα και πιο ποικίλων αναγκών των χρηστών και των εφαρμογών. Το δίκτυο θα εικονικοποιηθεί χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους και εργαλεία, όπως το SDN (Software-Defined Networking) και το NFV (Network Functions Virtualization) (Gilchrist, 2016).

2.2 Αρχιτεκτονική 5G

Πρόσφατα έγιναν αρκετές εξελίξεις και βελτιώσεις στην αρχιτεκτονική και την τεχνολογία των κινητών ευρυζωνικών δικτύων, προκειμένου να συμβαδίζουν με τις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των πελατών. Έχουν συχνά παρουσιαστεί πολυάριθμες αρχιτεκτονικές δικτύων 5G προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις για πόρους, η ταχύτητα εξυπηρέτησης όλων των αιτημάτων κ.λπ (Gilchrist, 2016).



Εικόνα 1: Γενική Αρχιτεκτονική 5G. Πηγή: 5GPPP Architecture Working Group, "view on 5G architecture," White Pap.

Resource & Functional Level

Το κεντρικό δίκτυο, το Διαδίκτυο και άλλοι φυσικοί πόροι που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία, τους υπολογισμούς και την αποθήκευση βρίσκονται σε αυτή τη βαθμίδα. Για περισσότερες πληροφορίες, έχουμε:

- Αυτή η μέθοδος, η οποία χρησιμοποιεί τεχνολογία ασύρματου δικτύου αντί των σημερινών τηλεφωνικών γραμμών, παρέχει στα σπίτια πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Παρά το γεγονός ότι είναι ταχύτερη και απλούστερη, η τεχνολογία FWA έχει μόνο ένα μειονέκτημα: έχει κακές επιδόσεις σε σύγκριση με τις σταθερές γραμμές. Ωστόσο, έχει αναφερθεί ότι οι τεχνολογίες 5G, συμπεριλαμβανομένης της διαμόρφωσης δέσμης και των mmWaves, θα χρησιμοποιηθούν στα επόμενα στάδια της FWA για να βελτιώσουν σημαντικά τις επιδόσεις της (Yan et al., 2020).
- Ένα δίκτυο ευρείας περιοχής είναι μια ομάδα υπολογιστών που συνδέονται μεταξύ τους μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας που εκτείνεται σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή. Τα τοπικά δίκτυα υπολογιστών συνδέονται συνήθως μέσω ενός WAN. Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιεί σχεδόν πάντα μισθωμένες δημόσιες τηλεπικοινωνιακές γραμμές ή σποραδικά δορυφορικές τηλεπικοινωνίες. Το πιο γνωστό WAN είναι το Διαδίκτυο (Yan et al., 2020).

- Core/Central Cloud.

Network Operating System & Network level

Χρησιμοποιούνται οι προγραμματιζόμενες μονάδες ελέγχου δικτύου. Με τη βοήθεια και των δύο, το φυσικό δίκτυο μπορεί να εικονικοποιηθεί. Ειδικότερα, τα λειτουργικά συστήματα δικτύου είναι ένα υποσύνολο λειτουργικών συστημάτων που έχουν σχεδιαστεί κυρίως για να παρέχουν σταθμούς εργασίας, κοινή χρήση βάσεων δεδομένων και κοινή χρήση εφαρμογών μεταξύ διαφόρων μηχανημάτων που είναι συνδεδεμένα σε ένα δίκτυο. Το LAN Manager της Microsoft, το Banyan VINES, το NetWare της Novell και το LANtastic της Artisoft είναι μερικά παραδείγματα λειτουργικών συστημάτων δικτύου. Το φυσικό δίκτυο εικονικοποιείται από τα λειτουργικά συστήματα δικτύου και τους προγραμματιζόμενους ελεγκτές δικτύου, όπως ήδη αναφέρθηκε. Ως αποτέλεσμα, παράγονται πολλές "φέτες" δικτύου, καθεμία από τις οποίες εξυπηρετεί έναν συγκεκριμένο σκοπό. Για την παροχή υπηρεσιών στους πελάτες, κάθε μία από αυτές τις φέτες, οι οποίες στεγάζονται στο επίπεδο δικτύου, χρησιμοποιεί ένα διαφορετικό σύνολο πόρων (υπολογιστές, δικτύωση κ.λπ.) (Yan et al., 2020).

Service Level

Αυτό είναι ένα από τα πιο σημαντικά επίπεδα της αρχιτεκτονικής 5G. Η ικανότητα των δικτύων 5G να διαχειρίζονται πολλές υπηρεσίες ταυτόχρονα και δυναμικά θα τα διαφοροποιήσει από τις προηγούμενες γενιές δικτύων. Οι προαναφερθείσες φέτες ομαδοποιούνται και συντονίζονται σε επίπεδο υπηρεσιών από λειτουργίες διαχείρισης (Yan et al., 2020).

2.3 Τεχνολογίες δικτύων 5^{ης} γενιάς

Προκειμένου να εκπληρώσει τις προσδοκίες των πελατών και να εξαλείψει τα εναπομείναντα εμπόδια, η κυψελοειδής υποδομή 5G πρέπει να περάσει από μια σημαντική μεταμόρφωση. Οι προαναφερθέντες στόχοι πρέπει να επιτευχθούν με τη χρήση στρατηγικών SDN (Software-Defined Networking) και NFV (Network Functions Virtualization). Οι πάροχοι υπηρεσιών θα συνδυάσουν τις προαναφερθείσες τεχνολογίες με άλλες στο 5G, το οποίο σχεδιάζεται για να είναι πιο προσαρμόσιμο και επεκτάσιμο, προκειμένου να αντιμετωπιστούν πρόσθετες ανησυχίες. Κατά μέσο όρο, οι χρήστες ασύρματων δικτύων περνούν το 80% του χρόνου τους σε εσωτερικούς

χώρους και το 20% του χρόνου τους σε εξωτερικούς χώρους. Η δυνατότητα επικοινωνίας τόσο εντός όσο και εκτός δικτύου είναι απαραίτητη για τους χρήστες των σημερινών ασύρματων δικτύων. Οι χρήστες θα πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνούν με ένα σταθμό βάσης, αφού τα σήματα θα πρέπει να μπορούν να παρακάμπτουν τα εμπόδια, ωστόσο αυτό θα μειώσει την αποδοτικότητα του φάσματος (Wood, 2021).

Το ζήτημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την ανάπτυξη της τεχνολογίας πολλαπλών εισόδων, πολλαπλών εξόδων (MIMO), η οποία χρησιμοποιεί πολυάριθμες κεραίες για την ενίσχυση του σήματος, επεκτείνοντας παράλληλα την περιοχή κάλυψης. Τεχνολογίες όπως Wi-Fi, Small Cell, Ultra Wideband, Millimeter Wave και οπτικές ίνες είναι μεταξύ των τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επικοινωνία μικρής εμβέλειας και υψηλού ρυθμού δεδομένων σε εσωτερικούς χώρους.

1. Νέες ραδιοσυχνότητες

Το 3GPP (3rd Generation Partnership Project) έχει καθορίσει δύο ζώνες συχνοτήτων ως διεπαφή αέρα NR (New Radio) για το 5G. Την FR1 (κάτω από 6GHz) και την FR2 (mmWave), η καθεμία με ειδικές δεξιότητες (Wood, 2021).

2. Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Οι μαζικές κεραίες MIMO αυξάνουν την απόδοση πεδίου και την πυκνότητα χωρητικότητας με τη χρήση πολλών κεραιών και πολυάριθμων χρηστών MIMO. Κάθε κεραία ρυθμίζεται ξεχωριστά και μπορεί να περιέχει εξαρτήματα ραδιοφωνικής λήψης.

3. Διαμόρφωση δέσμης

Η διάταξη δέσμης χρησιμοποιείται για την εστίαση των ραδιοκυμάτων σε έναν συγκεκριμένο στόχο χρήστη. Αυτό επιτυγχάνεται με το συνδυασμό υλικών έτσι ώστε ορισμένα σήματα να παρεμποδίζονται εποικοδομητικά και άλλα καταστροφικά. Ως αποτέλεσμα βελτιώνονται οι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων και η ποιότητα του σήματος. Στα ασύρματα δίκτυα πέμπτης γενιάς χρησιμοποιείται διαμόρφωση εντός δέσμης με χρήση κλιμακωτών συστοιχιών κεραιών (Wood, 2021).

4. SDN (Software Defined Networking)

Οι σταθμοί βάσης μπορούν να συντηρούνται και να προγραμματίζονται από έναν κεντρικό ελεγκτή που χρησιμοποιεί την τεχνολογία SDN. Η εφαρμογή, ο έλεγχος

και η υποδομή είναι τα τρία στοιχεία της αρχιτεκτονικής SDN. Αυτή η τεχνική για τα ασύρματα δίκτυα επιτρέπει στους διαχειριστές να χειρίζονται και να διαχειρίζονται τους διακομιστές από το χαμηλότερο επίπεδο λειτουργικότητας (Wood, 2021).

5. Εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV)

Το NFV είναι η ρίζα της κληρονομικότητας. Με αυτή τη φράση, αναφερόμαστε στο γεγονός ότι το NFV εικονικοποιεί μια ομάδα λειτουργιών δικτύου που συγχωνεύονται και συνδέονται μεταξύ τους για να επιτρέπουν την ανάπτυξη υπηρεσιών που προηγουμένως ήταν νοητές μόνο σε δίκτυα προηγούμενων γενεών. Η παραδοσιακή εικονικοποίηση διακομιστών αντικαθίσταται από το NFV, το οποίο επιτρέπει τον προγραμματισμό πολλών εικονικών μηχανών με ένα εύρος λειτουργικών συστημάτων, εφαρμογών και χαρακτηριστικών. Πιο συγκεκριμένα, μεταφέρει λογισμικό που λειτουργεί σε εξειδικευμένες πλατφόρμες και αξιοποιείται για δίκτυα ή τηλεπικοινωνίες.

6. Εξαιρετικά πυκνές αναπτύξεις (UDD)

Το φάσμα που είναι τώρα προσβάσιμο δεν μπορεί να υποστηρίξει τις ανάγκες των επερχόμενων τεχνολογιών 5G. Η ζώνη συχνοτήτων στην οποία θα λειτουργούν τα δίκτυα 5G είναι διαφορετική από εκείνη των προηγούμενων γενεών δικτύων. Ένα κρίσιμο στοιχείο του 5G είναι η ευρείας κλίμακας ανάπτυξη μικρών κυψελών, οι οποίες θα συνυπάρξουν με μικροκυψέλες, μακροκυψέλες και άλλες τεχνολογίες όπως το Wi-Fi, το LTE/A και το HSPA για τη δημιουργία ετερογενών δικτύων. Οι κυψέλες που παράγονται είναι αρκετά πυκνές. Η επακόλουθη πύκνωση του δικτύου είναι απαραίτητη για τη μεγιστοποίηση της επαναχρησιμοποίησης του εύρους ζώνης και την ελαχιστοποίηση των απωλειών μετάδοσης (Wood, 2021).

7. mmWave, ή χιλιοστομετρικά κύματα

Οι δύο ζώνες ραδιοσυχνοτήτων (FR1 και FR2) που θα μεταδίδουν τα δίκτυα 5G καλύφθηκαν παραπάνω. Μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για τα δίκτυα 5G είναι η FR2 (mmWave), η οποία δίνει στη συσκευή του χρήστη πολλά gigabits ανά δευτερόλεπτο. Χρησιμοποιεί ένα εύρος συχνοτήτων από 30 GHz έως 300 GHz. Η επικοινωνία D2D (Device to Device) στα κυψελοειδή δίκτυα mmWave παρέχει πολλές άμεσες ταυτόχρονες συνδέσεις, ενισχύοντας τη χωρητικότητα του δικτύου (Wood, 2021).

8. Ετερογενή δίκτυα ή HetNets.

Μια στρατηγική για την αντιμετώπιση της τεράστιας αύξησης της κίνησης στα ασύρματα δίκτυα είναι η ανάπτυξη πολλών μικροσκοπικών κυψελών, η οποία δημιουργεί ετερογενή δίκτυα. Αποτελούνται από μικρές κυψέλες με χαμηλή απόδοση ισχύος, γεγονός που ενισχύει τη χωρητικότητα του δικτύου και διευρύνει την κάλυψη των σταθμών βάσης.

9. Επικοινωνία D2D (συσκευή προς συσκευή)

Η άμεση επικοινωνία χρήστη με χρήστη (D2U) στα κινητά δίκτυα ορίζεται ως η απευθείας επικοινωνία δύο χρηστών χωρίς τη βοήθεια σταθμού βάσης ή πυρήνα δικτύου. Οι επικοινωνίες D2D έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν σημαντικά τη φασματική απόδοση του δικτύου σε ορισμένες περιπτώσεις (Wood, 2021).

2.4 Εφαρμογές 5G

Για το 5G, αναμένονται νέες υπηρεσίες και περιπτώσεις χρήσης, όπου θα κυριαρχήσουν στην τεχνολογία. Ενώ ορισμένες περιπτώσεις χρήσης μπορεί να επικεντρωθούν σε έναν μόνο δείκτη επιδόσεων, άλλες μπορεί να χρειαστεί να βελτιστοποιήσουν πολλαπλές διαστάσεις. Ωστόσο, η παροχή ενός τόσο ευρέος φάσματος περιπτώσεων χρήσης με ευέλικτο και αξιόπιστο τρόπο θα είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα του 5G. Η μαζική επικοινωνία τύπου μηχανής (mMTC), η ενισχυμένη ευρεία ζώνη κινητικότητας (eMBB) και η εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (URLLC) είναι τρεις κατηγορίες γενικών υπηρεσιών που αναμένεται να προσφερθούν. Για να μάθουμε περισσότερα σχετικά με αυτές τις υπηρεσίες, διαβάσουμε τα εξής:

- eMBB. Οι κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες μπορούν να παρέχουν σταθερές συνδέσεις με πολύ υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, ενώ παράλληλα παρέχουν στους καταναλωτές εντυπωσιακούς ρυθμούς σε δυσμενείς κυψελοειδείς καταστάσεις (Attaran, 2021).
- mMTC. Μπορεί να χειριστεί συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων που μεταδίδουν σποραδικά μόνο μικρά πακέτα δεδομένων, καθώς παρέχει μαζική επικοινωνία για συσκευές τύπου μηχανής.

- URLLC. Οι επικοινωνίες αυτής της υπηρεσίας υποστηρίζουν πολύ υψηλή αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση για τη μεταφορά μικρών ποσοτήτων δεδομένων.

Στις προαναφερθείσες υπηρεσίες έχουν δημιουργηθεί ομάδες χρήσης, εντός των οποίων έχουν δημιουργηθεί κατηγορίες υπηρεσιών. Στις κατηγορίες χρήσης περιλαμβάνονται οι πυκνές αστικές περιοχές, τα συνδεδεμένα οχήματα, τα μελλοντικά έξυπνα σπίτια, τα δίκτυα IoT και το απτικό διαδίκτυο (Attaran, 2021).

Οι ομάδες χρήσης μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν με τους ακόλουθους τρόπους:

- Χαμηλό εύρος ζώνης για IoT σε ευρυζωνικές υπηρεσίες
- Μελλοντικοί έξυπνοι χώροι εργασίας και συνδεδεμένα αυτοκίνητα
- Απτικό δίκτυο

Με βάση τις μετρήσεις για την εμπειρία εξυπηρέτησης κάθε πελάτη, η παραπάνω κατάταξη περιλαμβάνει:

- Πυκνότητα συσκευών
- Μετακίνηση
- Αξιοπιστία
- Τύπος υπηρεσίας 5G (eMBB, URLLC και mMTC)
- Ρυθμός δεδομένων χρήστη (Attaran, 2021).

Η τεχνολογία 5G μπορεί να επιτρέψει μια σειρά υπηρεσιών και να παρέχει συνδεσιμότητα σε ολόκληρο τον κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, βοηθά στην κάλυψη τόσο των καθημερινών αναγκών για προσωπική όσο και για επαγγελματική χρήση. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης της τεχνολογίας 5G θα καλυφθούν λεπτομερέστερα στις παραγράφους που ακολουθούν. οπουδήποτε στον κόσμο για να παρατηρήσει. Η στρατηγική αυτή μειώνει σημαντικά την εγκληματικότητα. Στην ουσία, όπου κι αν βρίσκεται ένα χαμένο άτομο, η τεχνολογία 5G μπορεί να βοηθήσει στην αναζήτησή του και ενδεχομένως ακόμη και στον εντοπισμό του (Attaran, 2021).

Δυνατότητα αύξησης του εύρους ζώνης για όλους τους χρήστες.

Η ποσότητα δεδομένων που είναι προσβάσιμη στους καταναλωτές είναι γνωστή ως εύρος ζώνης. Στην ουσία, έχουν πλήρη ελευθερία να κατεβάζουν πράγματα, να έχουν πρόσβαση σε ιστότοπους, να παρακολουθούν ταινίες και να κάνουν οτιδήποτε άλλο επιλέξουν. Ένα δίκτυο 5G θα επιτρέψει τη χίλιες φορές ταχύτερη λειτουργία των έξυπνων συσκευών σε σχέση με ένα δίκτυο 4G. Πολλές εργασίες που προηγουμένως ήταν δυνατές μόνο σε επιτραπέζιους ή φορητούς υπολογιστές θα είναι πλέον δυνατές σε μια έξυπνη συσκευή (Attaran, 2021).

Η χωρητικότητα θα είναι μεγαλύτερη από το σημερινό δίκτυο 4G.

Αναμένεται να βελτιώσει την ευρυζωνική πυκνότητα για τους συνδρομητές και να ενισχύσει την απόδοση δεδομένων κατά περισσότερο από 1 GB ανά δευτερόλεπτο. Η αξιοποίηση του 5G θα οδηγήσει σε χαμηλή καθυστέρηση, ελάχιστη χρήση της μπαταρίας, επέκταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας κατά 10 χρόνια και μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου κατά 90%.

Επιτρέποντας σε πολλούς χρήστες να έχουν πρόσβαση σε συνδέσεις ταυτόχρονα και γρήγορα.

Τα κινητά τηλέφωνα θα είναι ταχύτερα και πιο χρήσιμα λόγω της αυξημένης φασματικής απόδοσης του δικτύου 5G. Η εικονική πραγματικότητα θα εισαχθεί και στην αγορά των smartphones. Το 5G θα επιφέρει τη μεγαλύτερη αλλαγή, ξεκινώντας από την εποχή των έξυπνων σπιτιών και αυτοκινήτων (Attaran, 2021).

2.5 Μειονεκτήματα και ανησυχίες

Η ασφάλεια και η έλλειψη τεχνολογικής προόδου στις περισσότερες περιοχές του κόσμου είναι δύο κίνδυνοι. Πολλές παλαιότερες συσκευές δεν υποστηρίζουν την τεχνολογία 5G. Θα κοστίσει πολλά χρήματα η αντικατάσταση των πεπαλαιωμένων συσκευών με συσκευές συμβατές με το 5G. Ενδέχεται να υπάρξουν προβλήματα με τα ραδιοσήματα και πολλές περιοχές του πλανήτη ενδέχεται να μην επιτρέπουν τη σημαντική αύξηση της ταχύτητας. Η ανάπτυξη της υποδομής είναι δαπανηρή, υπάρχουν ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και την ασφάλεια με το δίκτυο 5G και η εγκατάσταση και η συντήρηση του δικτύου 5G απαιτεί εξαιρετικά εκπαιδευμένους εμπειρογνώμονες. Εξαιτίας αυτού, η εγκατάσταση και η συντήρηση

του 5G θα κοστίζει περισσότερο και τα smartphones 5G θα είναι ακριβά. Η εσωτερική κάλυψη περιορίζεται στα 2 μέτρα και η εξωτερική κάλυψη στα 300 μέτρα. Σύμφωνα με τις πρώτες αναφορές σχετικά με το δίκτυο 5G, τα δεδομένα θα μεταδίδονται στην περιοχή των 6 GHz. Δυστυχώς, υπάρχουν ήδη πολλά άλλα σήματα σε αυτή την περιοχή ραδιοσυχνοτήτων. Επειδή το δίκτυο δεν απαιτεί τόσο μεγάλο εύρος ζώνης, οι πύργοι κινητής τηλεφωνίας 3G θα μπορούσαν να καλύψουν μια μεγάλη περιοχή με μικρό μόνο αριθμό κυψελών (Attaran, 2021).

Οι κυψέλες παρήγαγαν μεγαλύτερο εύρος ζώνης όταν τα δίκτυα 4G έγιναν το πρότυπο. Οι άνθρωποι παρατήρησαν μείωση της κάλυψης σε σύγκριση με το δίκτυο 3G. Θα χρειαστούν περισσότεροι πύργοι κυττάρων καθώς αναπτύσσεται το δίκτυο 5G προκειμένου να δημιουργηθεί αυτή η τεράστια χωρητικότητα, και θα χρειαστούν επίσης περισσότερες κυψέλες επειδή δεν μπορούν να καλύψουν τόσο μεγάλη έκταση όσο οι κυψέλες 3G ή 4G. Ως εκ τούτου, οι χρήστες του 5G θα πρέπει να είναι προετοιμασμένοι για μια πιθανή μείωση της κάλυψης στην αρχή. Οι συχνότητες αυτές επιλέχθηκαν για τη μετάδοση των δικτύων 5G, δεδομένου ότι δεν χρησιμοποιούνται ήδη από καμία άλλη τεχνολογία. Στην Ευρώπη θα χρησιμοποιηθούν τρεις διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων: μια ζώνη 0,7 GHz, μια ζώνη 3,4 έως 3,8 GHz και μια πολύ υψηλότερη ζώνη συχνοτήτων μεταξύ 24 και 27,5 GHz. Επειδή αυτές οι συχνότητες είναι υψηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούνται από τα δίκτυα 4G, τα δίκτυα πέμπτης γενιάς θα μπορούν να μεταδίδουν δεδομένα με πολύ υψηλότερους ρυθμούς (Wood, 2021).

Το πρόβλημα και η απαρχή των προαναφερθέντων κινδύνων για την υγεία των ανθρώπων προκαλείται από την ανάγκη εγκατάστασης διαφόρων κεραιών. Επειδή τα σήματα υψηλότερων συχνοτήτων έχουν μικρότερη εμβέλεια από τα σήματα χαμηλότερων συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται σήμερα, απαιτούνται περισσότερες κεραιές τοποθετημένες κοντά μεταξύ τους για την ενίσχυσή τους για ευρύτερη κάλυψη. Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC), η οποία είναι υπεύθυνη για τη χορήγηση αδειών δημόσιας χρήσης του ραδιοφάσματος στις ΗΠΑ, διαφωνεί με την Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ. Τα σήματα των εμπορικών ασύρματων πομπών είναι συχνά πολύ ασθενέστερα από τα όρια έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες (RF) για οποιαδήποτε τοποθεσία όπου συσκευές με δυνατότητα 5G θα χρησιμοποιούνταν από το ευρύ κοινό. Η Ευρωπαϊκή Ένωση απαντά προσεκτικά, υποστηρίζοντας ότι δεν έχει γίνει ακόμη καμία έρευνα εκτός εργαστηρίου που να τεκμηριώνει τους

ισχυρισμούς τους και ότι οι εμπειρογνώμονες θα συνεχίσουν να δοκιμάζουν νέα δίκτυα καθώς η τεχνολογία αναπτύσσεται για να εγγυηθούν ότι η τεχνολογία που χρησιμοποιούμε καθημερινά παραμένει ασφαλής για τον άνθρωπο (Wood, 2021).

3. Χρήσεις 5G

3.1 Έξυπνες πόλεις

Οι δύο βασικές τεχνολογικές εξελίξεις που οδηγούν στην ανάπτυξη του 5G είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), το οποίο οδηγεί τη ζήτηση για ευρύτερη συνδεσιμότητα συσκευών, και η εκρηκτική αύξηση της ζήτησης για ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες, η οποία απαιτεί ταχύτερα δίκτυα υψηλότερης χωρητικότητας. Παράλληλα, δημιουργούνται νέες εφαρμογές και περιπτώσεις χρήσης, όπως η αυτοματοποιημένη οδήγηση, η επαυξημένη πραγματικότητα, η εικονική πραγματικότητα, η επικοινωνία από απόσταση, οι υπηρεσίες ηλεκτρονικής υγείας και η ηλεκτρονική υγεία. Αρχικά διερευνώνται τα χαρακτηριστικά και οι προδιαγραφές των περιπτώσεων χρήσης. Στη συνέχεια, καλύπτονται λεπτομερώς συγκεκριμένες εφαρμογές δικτύων 5G σε εμπορικούς τομείς, καθώς και τα πλεονεκτήματα κάθε κλάδου. Πολλές περιπτώσεις χρήσης θα υποστηρίζονται από τα δίκτυα 5G. Οι τοποθεσίες ανάπτυξης θα διακριθούν επίσης από τα διάφορα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις τους. Η ταξινόμηση των περιπτώσεων χρήσης 5G επικεντρώθηκε αρχικά σε ευρύτερες κατηγορίες. Ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι ίσως είναι απαραίτητο να βρεθεί ένα σχήμα ταξινόμησης που να καλύπτει τα μοναδικά χαρακτηριστικά κάθε περίπτωσης χρήσης. Οι βασικές ανάγκες και τα είδη αλληλεπίδρασης που θα διέπουν τις περιπτώσεις χρήσης 5G επισημαίνονται σε αυτή την ενότητα (Gohar & Nencioni, 2021).

Ένα νέο κύμα γενετικού μετασχηματισμού βρίσκεται σε εξέλιξη, με επικεφαλής το 5G και την έξυπνη πόλη, και τροφοδοτείται από ποικίλες αιτίες, όπως η πολιτισμική αλλαγή, οι οικονομικές δυσκολίες και η γήρανση του πληθυσμού. Αυτή η ενότητα εξετάζει τους βασικούς κλάδους που προβλέπεται να επηρεάσει μια έξυπνη πόλη βασισμένη στο IoT και πώς το 5G θα αποτελέσει την κινητήρια δύναμη πίσω από αυτή την αλλαγή. Αρκετές κατηγορίες ή βιομηχανικοί τομείς, όπως η ενέργεια, η υγειονομική περίθαλψη, η μεταποίηση, τα μέσα ενημέρωσης και ψυχαγωγίας, η αυτοκινητοβιομηχανία και οι δημόσιες μεταφορές, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν κατά προσέγγιση ως προς τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται η τεχνολογία 5G

στις έξυπνες πόλεις. Θα μπορούσαν να υπάρχουν διάφορες περιπτώσεις χρήσης για κάθε βιομηχανία (Gohar & Nencioni, 2021).

3.2 Ενέργεια

Οι τρόποι με τους οποίους παράγεται, μεταφέρεται και καταναλώνεται η ενέργεια εξελίσσονται. Στο παρελθόν, υπήρχε ένας μεγάλος κεντρικός σταθμός παραγωγής ενέργειας για την τροφοδοσία των τελικών καταναλωτών. Είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστεί η ασταθής απόδοση των μικρής κλίμακας σταθμών παραγωγής ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, καθώς αναπτύσσονται οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Τα τεράστια συμβατικά συγκεντρωτικά συστήματα παραγωγής ενέργειας αρχίζουν να αντικαθίστανται από αυτές τις χιλιάδες μικροσκοπικές κατανεμημένες μονάδες παραγωγής ενέργειας. Οι πελάτες μπορούν πλέον να παράγουν τη δική τους ηλεκτρική ενέργεια χάρη στη μετάβαση των δικτύων παραγωγής και διανομής ενέργειας από μονόδρομες σε αμφίδρομες ροές ενέργειας (Gohar & Nencioni, 2021).

Αυτό που έχει σχεδιαστεί για να κάνει το 5G είναι να δώσει έμφαση στη σύνδεση και την παρακολούθηση απομακρυσμένων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια σε όλες τις τέσσερις πτυχές της αλυσίδας αξίας - παραγωγή, μεταφορά, διανομή και κατανάλωση. Το 5G μπορεί να βελτιώσει τη διαχείριση της ενέργειας, τη χρήση του κεφαλαίου και τον χρόνο διακοπής λειτουργίας με τη διαχείριση απομακρυσμένων ενεργειακών πόρων, τη δημιουργία βελτιωμένων συστημάτων μέτρησης και την ενίσχυση της ενσωμάτωσης αισθητήρων στα δίκτυα ενέργειας. Ο αντίκτυπος του 5G στον τομέα της ενέργειας θα οδηγήσει σε έως και 1,3% περισσότερες πωλήσεις, ή 73,6 δισ. ευρώ σε πρόσθετα έσοδα, και 25,1 δισ. ευρώ σε οικονομικά πλεονεκτήματα. Επιπλέον, οι επιπτώσεις του 5G θα ενισχύσουν το ΑΕΠ κατά 38,7 δισ. ευρώ επιπλέον σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας (Gohar & Nencioni, 2021).

3.3 Υγειονομική περίθαλψη

Λόγω της επιδημίας και του υψηλότερου προσδόκιμου ζωής, υπάρχει σημαντική αύξηση των αναγκών για υπηρεσίες υγείας. Τα στοιχεία αυτά προκαλούν αύξηση των ετήσιων δαπανών για την υγειονομική περίθαλψη κατά 5 έως 6 τοις εκατό. Το 80 τοις

εκατό των σημερινών δαπανών υγειονομικής περίθαλψης στην Ευρώπη δαπανάται για τη θεραπεία χρόνιων διαταραχών. Επιπλέον, το 86 τοις εκατό των θανάτων προκαλείται από αυτές τις ασθένειες και ο αριθμός των θανάτων θα αυξηθεί καθώς ο πληθυσμός γερνάει. Μέχρι το 2030, θα υπάρξει έλλειμμα 4,1 εκατομμυρίων ατόμων σε γιατρούς, νοσηλευτές και άλλους επαγγελματίες υγείας, σύμφωνα με έρευνα. Θα είναι ζωτικής σημασίας να καλυφθεί αυτό το τεχνολογικό κενό και να αναπτυχθούν πιο κλιμακούμενες προσεγγίσεις υγειονομικής περίθαλψης. Ένας κόσμος όπου η υγειονομική περίθαλψη παρέχεται χωρίς περιορισμούς μπορεί να γίνει εφικτός με το 5G. Ολόκληρο το ψηφιακό οικοσύστημα που υποστηρίζει την ανίχνευση ασθενειών και την ιατρική έρευνα θα υποστεί αλλαγή χάρη στο 5G. Έως και 77 δισεκατομμύρια ευρώ σε οικονομικό προϊόν, 51,2 δισεκατομμύρια ευρώ σε ΑΕΠ και έως και 0,4 εκατομμύρια θέσεις εργασίας αναμένεται να προκύψουν από την επίδραση του 5G στην υγειονομική περίθαλψη το 2026 (Gohar & Nencioni, 2021).

3.4 Βιομηχανία

Οι βιομηχανίες παγκοσμίως βρίσκονται υπό μεγάλη πίεση λόγω των όλο και πιο ασταθών αγορών και των μικρότερων κύκλων ζωής των προϊόντων. Τα περιθώρια παραγωγής είναι πιο περιορισμένα από ποτέ λόγω της γήρανσης του εργατικού δυναμικού και των υλικών που είναι όλο και πιο ποικίλα και δύσκολα στην κατασκευή τους. Η μεταποιητική βιομηχανία έχει το μεγαλύτερο ποσοστό ατυχημάτων με τραυματισμούς μεταξύ όλων των ιδιωτικών και δημόσιων τομέων. Αν και λιγότερο από το 30% των βιομηχανιών ισχυρίζονται ότι έχουν αγκαλιάσει τα ψηφιακά μέσα, έχουν επίγνωση του τρόπου με τον οποίο μπορούν να αυξήσουν την παραγωγικότητα. Το 5G και άλλες τεχνολογίες που το επιτρέπουν, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία έξυπνων εργοστασίων, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την παραγωγικότητα κατά 20-30% (Chung & Kim, 2020).

Για εφαρμογές στη βιομηχανική διαδικασία που απαιτούν συγχρονισμό και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, οι τεχνολογίες 5G προσφέρουν τεράστιες δυνατότητες δικτύου. Ο όρος "αυτοματοποίηση εργοστασιακών χώρων" αναφέρεται σε μια ευρεία κατηγορία εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένου του κρίσιμου για την αποστολή απομακρυσμένου ελέγχου μηχανών, των συγχρονισμένων ρομπότ και της έξυπνης επιμέλειας με αυτόνομα καθοδηγούμενα οχήματα (AGV). Η μεγαλύτερη ευελιξία, το χαμηλότερο κόστος, οι μικρότεροι χρόνοι αναδιαμόρφωσης και οι αλλαγές

στην παραγωγική διαδικασία σε επίπεδο εργοστασίου θα καταστούν δυνατές από το 5G. Η παρακολούθηση και η αντιμετώπιση των παραβιάσεων της ποιότητας εμπίπτουν στην αρμοδιότητα της διασφάλισης ποιότητας. Η απόδοση των ελέγχων ποιότητας μπορεί να αυξηθεί κατά 50% και η ανίχνευση σφαλμάτων μπορεί να αυξηθεί κατά 90% με τη βελτίωση των διαδικασιών παρακολούθησης της ποιότητας με τη χρήση του 5G. Επιπλέον, η χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και της εικονικής πραγματικότητας (VR) μπορεί να μειώσει τους τραυματισμούς κατά 5 έως 15%, ενώ αυξάνει τα ποσοστά πρώτης διόρθωσης για τους τεχνικούς κατά 20 έως 40%. Η AR/VR μπορεί να μειώσει τον χρόνο διακοπής λειτουργίας, την επανεπεξεργασία και τον χρόνο συναρμολόγησης κατά 10 έως 35%, 15 έως 25% και 20 έως 50%, αντίστοιχα. Το ΑΕΠ που υποστηρίζεται από το 5G μπορεί να αυξηθεί έως και 5% χάρη στις βελτιώσεις της παραγωγικότητας που γίνονται δυνατές από το 5G στη μεταποιητική βιομηχανία (Chung & Kim, 2020).

3.5 Έξυπνες Μεταφορές

Ένα κρίσιμο στοιχείο της δέσμευσης του 5G για τη σύνδεση μεμονωμένων αυτοκινήτων είναι η ανάπτυξη συνεταιριστικών ευφυών συστημάτων μεταφορών (CITS). Τα CITS με δυνατότητα 5G μπορούν να καταστήσουν τις πόλεις πιο έξυπνα μέρη, καθιστώντας τα αυτοματοποιημένα συστήματα μεταφορών ασφαλέστερα και αποτελεσματικότερα από τα σημερινά δίκτυα μεταφορών. Επιπλέον, αυτό βοηθά το σύστημα δημόσιων μεταφορών στην επίλυση σημαντικών κυκλοφοριακών προβλημάτων στις μεγάλες πόλεις, όπως η ρύπανση, τα ατυχήματα και η συμφόρηση. Το 5G μπορεί να αντιμετωπίσει αυτά τα ζητήματα δίνοντας στα δημόσια μέσα μεταφοράς ένα πραγματικά ευφύες σύστημα μεταφορών με συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας στο διαδίκτυο. Ένα συνδεδεμένο σύννεφο κυκλοφορίας που συγκεντρώνει και αναλύει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από συνδεδεμένες συσκευές, υποδομές και οχήματα μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη πλοήγηση, στην αποδοτικότερη χρήση του χρόνου και των καυσίμων και σε άλλες επιχειρησιακές δραστηριότητες. Οι αρχικές δοκιμές CITS οδήγησαν σε λιγότερη συμφόρηση, ατυχήματα και αναποτελεσματικότητα του φόρτου εργασίας. Ακολουθεί μια σύνοψη των σημαντικότερων αλλαγών που συμβαίνουν στην αυτοκινητοβιομηχανία: (Pisarov & Mester, 2020).

- Αυτόνομη οδήγηση.

- Υπηρεσίες που σχετίζονται με την αποτελεσματικότητα της κυκλοφορίας και την οδική ασφάλεια.

- Ευφυής πλοήγηση

- Η κοινωνία της πληροφορίας στο δρόμο.

Οι μεταφορές συνεισφέρουν το 6-12% του ΑΕΠ σε πολλά πλούσια κράτη. Μέχρι το 2030, θα υπάρχουν δύο δισεκατομμύρια εγγεγραμμένα αυτοκίνητα, γεγονός που θα ασκήσει πίεση στο σύστημα μεταφορών. Το 2010, υπήρχαν ένα δισεκατομμύριο εγγεγραμμένα οχήματα. Επιπλέον, ο δείκτης θνησιμότητας από τροχαία ατυχήματα αναμένεται να αυξηθεί σε 1,8 εκατομμύρια μέχρι το 2030, ενώ εκτιμάται ότι θα χάνονται 1,3 εκατομμύρια ζωές ετησίως. Για την επίλυση των προβλημάτων των μεταφορών, τα ευφυή συστήματα μεταφορών (ITS) είναι απαραίτητα. Στόχος των ITS είναι να προσφέρουν υπηρεσίες αιχμής για τη διαχείριση της κυκλοφορίας και των διαφόρων ειδών μεταφορών. Εξαιτίας αυτού, τα ITS έχουν τεράστιες δυνατότητες να επηρεάσουν την παραγωγικότητα των χρηστών, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, τη χρήση γης, την ασφάλεια, την κινητικότητα και άλλους παράγοντες (Pisaron & Mester, 2020).

Το τοπίο των ITS θα μπορούσε να υποστεί σημαντικό μετασχηματισμό ως αποτέλεσμα του 5G. Η λειτουργία και οι επιδόσεις των ITS μπορούν να ενισχυθούν με διάφορους τρόπους από το 5G και τους πολλούς τύπους συστατικών του, συμπεριλαμβανομένων των eMBB, mMTC, uRLLC και V2X. Οι τεχνολογίες εφαρμογών και η εξέλιξη των οχημάτων πρέπει να ληφθούν υπόψη προκειμένου να υλοποιηθεί πλήρως η έννοια του ITS. Η αυτοκινητοβιομηχανία εργάζεται για να καταστήσει τα αυτοκίνητα πιο περιβαλλοντικά συνειδητοποιημένα. Τα σύγχρονα οχήματα είναι πλέον πλατφόρμες αισθητήρων που επικοινωνούν και λαμβάνουν δεδομένα από το περιβάλλον τους. Σύμφωνα με τους Tomkos και συν. (2020), τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ενεργοποιήσουν εφαρμογές ασφαλείας αιχμής που μειώνουν τα τροχαία ατυχήματα, αυξάνουν την αποτελεσματικότητα της κυκλοφορίας και βελτιώνουν την πρόσβαση σε οχήματα διάσωσης.

Για να λειτουργήσουν όμως αυτές οι εφαρμογές, απαιτείται ένα συντονισμένο πλαίσιο, το οποίο να υποστηρίζει χαρακτηριστικά όπως η υψηλή κινητικότητα, η υψηλή αξιοπιστία και η επεκτασιμότητα, καθώς και χαρακτηριστικά όπως η εξαιρετικά

χαμηλή καθυστέρηση για τα προειδοποιητικά σήματα και οι υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων για την ανταλλαγή αισθητηριακών δεδομένων μεταξύ οχημάτων και υποδομών. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι δυνατότητες επικοινωνίας των αυτοκινήτων και των υποδομών μεταφορών, η βιομηχανία και άλλοι οργανισμοί έχουν επενδύσει σημαντικά ποσά στην έρευνα. Οι τέσσερις κατηγορίες περιπτώσεων χρήσης της επικοινωνίας V2X που καθορίζονται από το 3GPP είναι: όχημα προς όχημα (V2V), όχημα προς υποδομή (V2I), όχημα προς πεζό (V2P) και όχημα προς δίκτυο (V2N). Σύμφωνα με τους Lu και Ning (2020), οι επικοινωνίες V2V και V2P για την πρόληψη ατυχημάτων λαμβάνουν χώρα κυρίως μεταξύ αυτοκινήτων ή μεταξύ αυτοκινήτων και ευάλωτων χρηστών του οδικού δικτύου (όπως πεζοί και ποδηλάτες).

Το V2I επιτρέπει την άμεση επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και οδικών υποδομών, όπως οι μονάδες οδικής εξυπηρέτησης (RSU). Για να βελτιωθεί η ποσότητα των επικοινωνιών που μπορεί να λάβει ένα όχημα, η RSU λειτουργεί ως κόμβος προώθησης. Η μετάδοση από όχημα σε όχημα (V2V) χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση λειτουργιών όπως η συνδεσιμότητα για τη δυναμική διαχείριση διαδρομών και η ροή πολυμέσων για ψυχαγωγία. Λόγω των εντυπωσιακών εξελίξεων στις τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών, η αυτοκινητοβιομηχανία κινείται προς τα αυτοματοποιημένα οχήματα. Με τη βοήθεια αισθητήρων επί του οχήματος, τα οχήματα αυτά μπορούν να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον τους, να πλοηγούνται και να κάνουν όλες τις άλλες πτυχές της οδήγησης από μόνα τους. Τα οχήματα αυτά αναφέρονται ως αυτόνομα οχήματα (AV) ή αυτοκινούμενα αυτοκίνητα. Περισσότερα από 33 εκατομμύρια AV αναμένεται να πωλούνται ετησίως μέχρι το 2040, επιτρέποντας τη νέα αυτόνομη κινητικότητα σε περισσότερο από το 26% των νέων πωλήσεων αυτοκινήτων. Τα AVs αποτελούν συστατικό στοιχείο των ITS. Η Διεθνής Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτων (SAE) έχει δημιουργήσει ένα πλαίσιο που βασίζεται σε ένα συνεχές έξι επιπέδων για την ταξινόμηση της αυτονομίας των AV. Τα επίπεδα 0 έως 5 κατηγοριοποιούνται ως "πλήρως χειροκίνητα", "πλήρως αυτοματοποιημένα" και ενδιάμεσα επίπεδα. Το όχημα έχει προχωρήσει στο επίπεδο αυτονομίας τρία χάρη στη σύγχρονη τεχνολογία, η οποία του επιτρέπει να παρακολουθεί το περιβάλλον του και να αντιδρά σε σενάρια έκτακτης ανάγκης, όπως το φρενάρισμα έκτακτης ανάγκης. Η αυτονομία του οχήματος επιπέδου πέντε δεν είναι εφικτή χωρίς καμία βοήθεια από την επικοινωνία V2X. Ως αποτέλεσμα, το αυτόνομο

όχημα είναι λιγότερο ικανό να αντιδράσει σε γρήγορους ελιγμούς, να αποτρέψει συγκρούσεις και να αντιμετωπίσει ακραίες καιρικές συνθήκες (Lu & Ning, 2020).

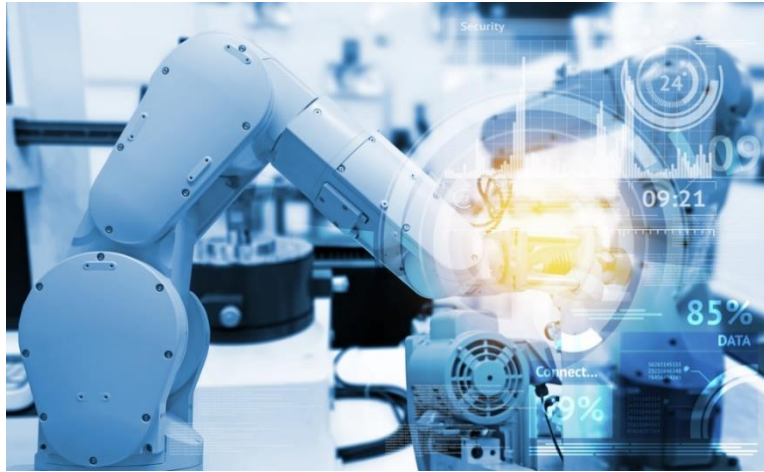
4. Ο Βιομηχανικός κλάδος και δίκτυα 5^{ης} γενιάς

Οι τρεις βιομηχανικές επαναστάσεις που προηγήθηκαν προήλθαν από την εισαγωγή της μηχανοποιημένης παραγωγής με τη χρήση νερού και ατμού στα τέλη του 18ου αιώνα, τον καταμερισμό της εργασίας στις αρχές του 20ού αιώνα και την εισαγωγή των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC) για σκοπούς αυτοματοποίησης στη μεταποίηση τη δεκαετία του 1970. Το Διαδίκτυο θα διευκολύνει την επερχόμενη βιομηχανική επανάσταση (Βιομηχανία 4.0), η οποία θα συνδέει ανθρώπους και μηχανές (Cyber Physical Systems-CPS) σε τεράστια δίκτυα [39]. Οι βιομηχανικές εφαρμογές εξαρτώνται όλο και περισσότερο από τις ασύρματες και κινητές επικοινωνίες, γεγονός που απαιτεί αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης λειτουργία των ασύρματων δικτύων. Με τα δίκτυα 5G, θα είναι δυνατή η ικανοποίηση νέων προτύπων, όπως πολύ χαμηλές πιθανότητες σφάλματος και ελάχιστη καθυστέρηση. Σε αυτό το μέρος, συζητάμε περιπτώσεις χρήσης στον βιομηχανικό τομέα (Mahdi et al., 2021).

4.1 Βιομηχανικός αυτοματισμός

Οι κυριότεροι τομείς που απασχολούν τον βιομηχανικό αυτοματισμό είναι οι λειτουργίες του ποιοτικού ελέγχου, των λειτουργιών της αλυσίδας παραγωγής και της επεξεργασίας υλικών. Μια απρόσκοπτη σύνδεση σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής και με άλλα μέλη της βιομηχανικής αλυσίδας (όπως οι προμηθευτές και τα logistics) αναμένεται να παρέχεται από τα δίκτυα 5G. Θα επιτρέψουν την παρακολούθηση των φορτηγών που διανέμουν εμπορεύματα σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Η συνεργασία μεταξύ των οχημάτων θα βελτιώσει τις λειτουργικές ροές εφοδιασμού.

Χάρη στα δίκτυα 5G, όλα τα εξαρτήματα και τα συστήματα της κατασκευαστικής αλυσίδας που είναι διάσπαρτα σε πολλές τοποθεσίες θα επωφεληθούν από την αξιόπιστη συνδεσιμότητα (Mahdi et al., 2021).



Εικόνα 2: Βιομηχανικός αυτοματισμός. Πηγή: Algosystems.

4.2 Επαυξημένη πραγματικότητα

Με την ανάπτυξη των συσκευών επαυξημένης πραγματικότητας (AR), αναμένεται να εμφανιστούν νέες απομακρυσμένες υπηρεσίες, οι οποίες θα διευκολύνουν τη δημιουργία εικονικού προσωπικού back office. Σε αυτές τις απομακρυσμένες ομάδες θα παρέχεται ο εξοπλισμός που απαιτείται για τη χρήση δεδομένων έξυπνων συσκευών για προληπτικούς ελέγχους και εύκολη πρόσβαση σε λειτουργίες του συστήματος, όπως η δυνατότητα προβολής όσων βλέπει ένας εργαζόμενος στην κινητή συσκευή του. Ένα ακόμη όφελος από τη χρήση της επαυξημένης πραγματικότητας στη μεταποίηση είναι η εξ αποστάσεως συντήρηση και επισκευή μηχανημάτων (Mahdi et al., 2021).



Εικόνα 3: AR στη βιομηχανία. Πηγή: Startupper.

4.3 Συνεργατικά ρομπότ

Για τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των γραμμών παραγωγής απαιτείται άμεση βελτιστοποίηση με βάση την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο της απόδοσης των επιμέρους εξαρτημάτων, των μετρούμενων διακυμάνσεων στην ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων, των αλληλεπιδράσεων των χειριστών και των μεταβαλλόμενων περιβαλλοντικών συνθηκών. Σε αντίθεση με τα κινητά ρομπότ, τα οποία απαιτούν αξιόπιστη επικοινωνία με υψηλό ρυθμό μετάδοσης, οι αισθητήρες επικοινωνούν με πολύ χαμηλή καθυστέρηση και εξαιρετική αξιοπιστία με μέτριο ρυθμό μετάδοσης. Εκτός από την επικοινωνία μεταξύ μηχανών, νέες καταστάσεις επικοινωνίας χαμηλής καθυστέρησης προκύπτουν ως αποτέλεσμα των δυνατοτήτων συνεργασίας που προσφέρει η σημερινή γενιά ρομπότ, συμπεριλαμβανομένης της εισαγωγής των wearables και της επαυξημένης πραγματικότητας. Η πλειονότητα της τεχνολογίας στο μέλλον θα είναι ασύρματη ή κινητή, και για γρήγορες αντιδράσεις, τεράστιες ποσότητες δεδομένων -όπως μεγάλα δεδομένα και τρισδιάστατα μοντέλα- θα πρέπει να μεταφέρονται γρήγορα (Mahdi et al., 2021).

Ο όγκος των πληροφοριών που πρέπει να συγκεντρωθούν και να διαμοιραστούν προκειμένου να ληφθούν γρήγορα αποφάσεις είναι ζωτικής σημασίας. Τα συνεργατικά ρομπότ θα διευκολύνουν την αυτοματοποίηση περισσότερο, αυξάνοντας την ικανότητα

των χειριστών, την αποτελεσματικότητα της παραγωγής και την ποιότητα της παραγωγής, διατηρώντας παράλληλα την ασφάλεια. Τα δίκτυα 5G θα είναι απαραίτητα για την παροχή απίστευτα γρήγορης και αξιόπιστης συνδεσιμότητας (Pisarov & Mester, 2020).



Εικόνα 4: Συνεργατικά ρομπότ. Πηγή: ABB.

4.4 Έξυπνο γραφείο

Αυτή η περίπτωση χρήσης ορίζεται ως επικοινωνίες εσωτερικού χώρου σε οικιστικά και εμπορικά κτίρια με υψηλή πυκνότητα συσκευών. Οι μελλοντικοί καταναλωτές θα επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της πλειονότητας των προϊόντων, τα οποία αναμένεται να είναι ασύρματα συνδεδεμένα. Αυτό παραπέμπει σε μια εποχή στο μέλλον όπου ένας μεγάλος αριθμός ανθρώπων θα συνδέεται και θα χρησιμοποιεί εφαρμογές που χρειάζονται υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, απίστευτα υψηλό εύρος ζώνης, γρήγορη επεξεργασία τεράστιου όγκου δεδομένων στο σύννεφο και τηλεδιασκέψεις σε πραγματικό χρόνο. Ο τεράστιος όγκος και ο υψηλός ρυθμός δεδομένων των χρηστών, μαζί με την πυκνότητα της κίνησης, χρησιμεύουν ως παραδείγματα των κύριων δυσκολιών. Εκτιμάται πως ο ρυθμός δεδομένων θα φτάσει στο 1 Gbps και 15000 Gbps / km² (Pisarov & Mester, 2020).



Εικόνα 5: Έξυπνος χώρος εργασίας. Πηγή: Industrynews.gr

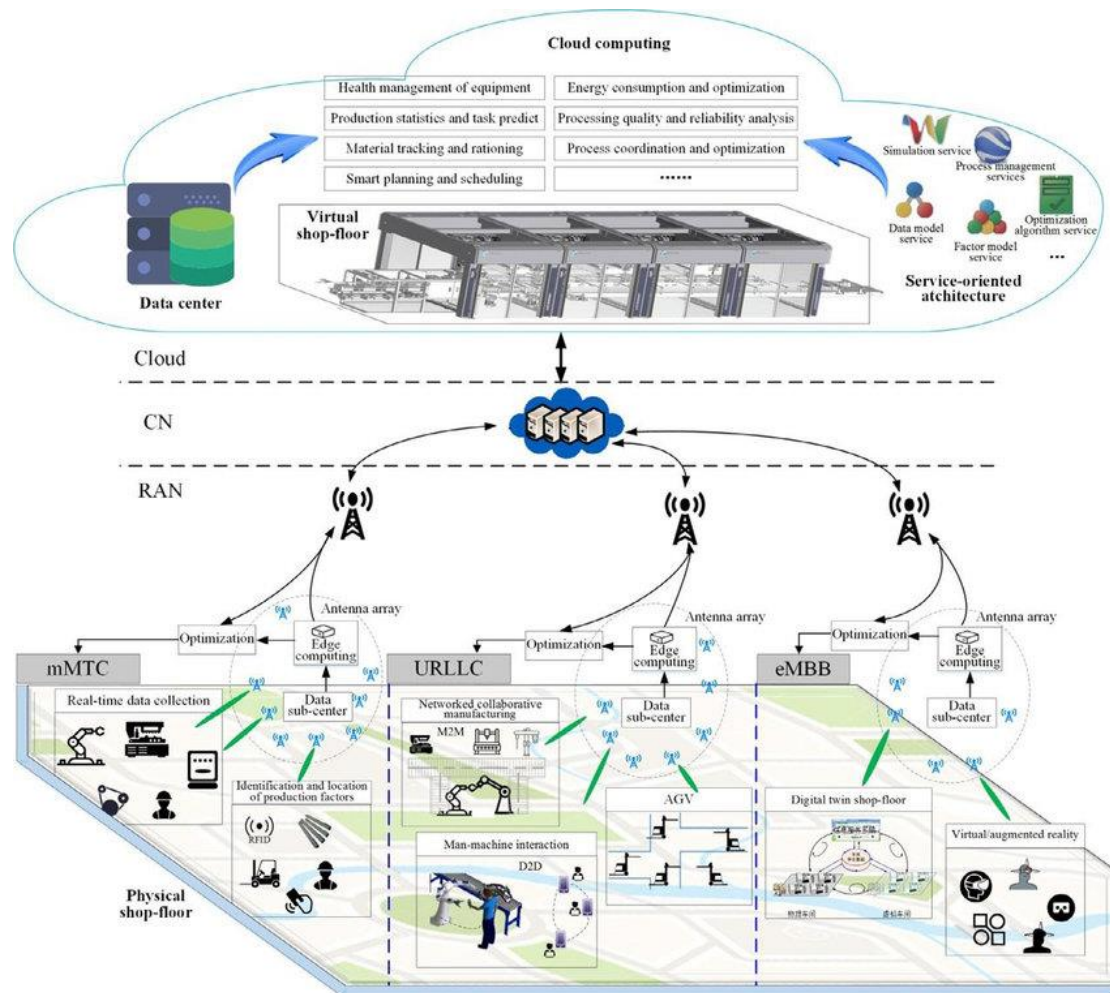
5. 5g σε έξυπνες βιομηχανικές εφαρμογές

Η έλευση των δικτύων πέμπτης γενιάς (5G) παρουσιάζει πληθώρα δυνατοτήτων για τον ριζικό μετασχηματισμό διαφόρων τομέων, ιδίως των έξυπνων βιομηχανικών δικτύων. Στο παρόν παρουσιάζονται διάφοροι κομβικοί τομείς στους οποίους η αξιοποίηση της τεχνολογίας 5G μπορεί να αξιοποιηθεί στο έπακρο στο πλαίσιο των ευφυών βιομηχανικών εφαρμογών:

1. Η έλευση των δικτύων 5G εγκαινίασε μια νέα εποχή ενισχυμένης συνδεσιμότητας, η οποία χαρακτηρίζεται από απaráμιλλη ταχύτητα και ακλόνητη αξιοπιστία. Αυτή η μετασχηματιστική τεχνολογία διευκολύνει την απρόσκοπτη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο και την ταχεία μεταφορά δεδομένων μεταξύ μυριάδων βιομηχανικών συσκευών, μηχανών και συστημάτων. Η προαναφερθείσα σύνδεση υψηλής ταχύτητας και χαμηλής καθυστέρησης διευκολύνει τις αδιάλειπτες

λειτουργίες, επιτρέποντας έτσι την ταχεία λήψη αποφάσεων και τη βελτίωση της συνολικής αποδοτικότητας (Mustafa et al., 2022).

2. Η ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) διευκολύνεται από την έλευση των δικτύων 5G, τα οποία επιτρέπουν την απρόσκοπτη συνδεσιμότητα και την αποτελεσματική διαχείριση μιας σημαντικής ποσότητας συσκευών IoT εντός βιομηχανικών χώρων. Η δημιουργία αυτής της συνδεσιμότητας διευκολύνει την απρόσκοπτη συγχώνευση αισθητήρων, ενεργοποιητών και άλλων ευφών συσκευών, επιτρέποντας έτσι την ενισχυμένη εποπτεία, ρύθμιση και αυτοματοποίηση εντός βιομηχανικών διαδικασιών (Mustafa et al., 2022).

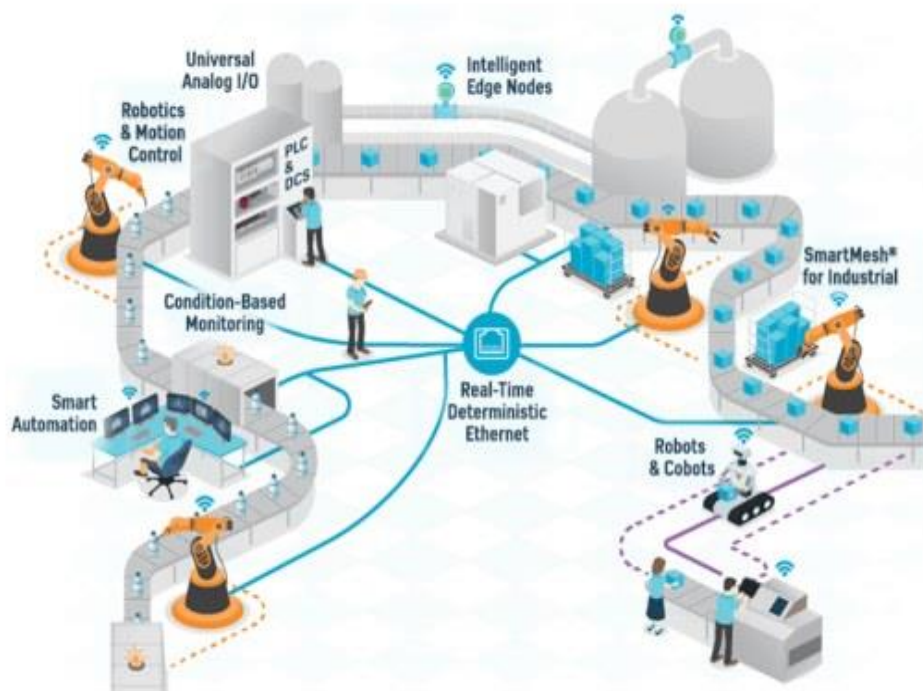


Εικόνα 6: 5g σε έξυπνη βιομηχανική εφαρμογή. Πηγή: Wake Industrial.

3. Η έλευση της τεχνολογίας 5G δίνει τη δυνατότητα στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις να αναπτύξουν συστήματα απομακρυσμένης παρακολούθησης και ελέγχου με αυξημένη αποτελεσματικότητα. Η αξιοποίηση αυτής της τεχνολογίας

διευκολύνει την ταυτόχρονη επιτήρηση των μηχανημάτων, των γραμμών συναρμολόγησης και των λειτουργικών διαδικασιών, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους χειριστές να διακρίνουν ανωμαλίες και να εκτελούν τις απαιτούμενες τροποποιήσεις ή συντηρήσεις από απομακρυσμένη τοποθεσία. Αυτή η συγκεκριμένη ικανότητα χρησιμεύει για τον μετριασμό των περιόδων αδράνειας, τη μείωση των λειτουργικών δαπανών και την ενίσχυση των μέτρων ασφαλείας.

4. Η αξιοποίηση των δικτύων 5G επιτρέπει τη διευκόλυνση καθηλωτικών τεχνολογιών όπως η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και η εικονική πραγματικότητα (VR) στο πεδίο των βιομηχανικών εφαρμογών. Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) έχει τη δυνατότητα να προσφέρει στους τεχνικούς επικαλύψεις πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας έτσι τα καθήκοντα συντήρησης και επισκευής τους. Η Εικονική Πραγματικότητα (VR) έχει τη δυνατότητα να διευκολύνει τη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων εκπαίδευσης, παρέχοντας έτσι στους εργαζόμενους την ευκαιρία να εμπλακούν σε προσομοιωμένα και περίπλοκα σενάρια, αποκτώντας έτσι νέες δεξιότητες, χωρίς να απαιτείται η φυσική τους παρουσία στον πραγματικό χώρο (Mustafa et al., 2022).

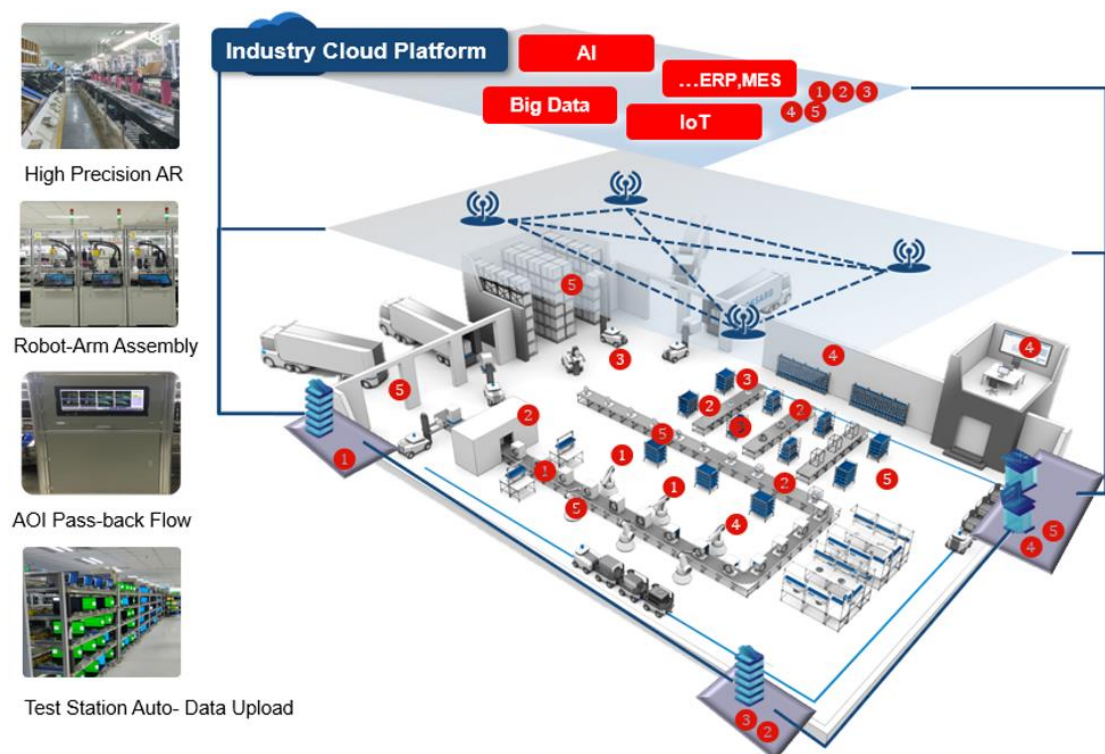


Εικόνα 7: Βιομηχανικές συσκευές 5g. Πηγή: EDN Asia.

5. Η υπολογιστική ακραίων σημείων είναι μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση που αξιοποιεί τις δυνατότητες των δικτύων 5G για την ενσωμάτωση με υποδομές αφιερωμένες σε υπολογιστικές διαδικασίες. Η ενσωμάτωση αυτή διευκολύνει την εγγύτητα της υπολογιστικής ισχύος στις βιομηχανικές συσκευές, αμβλύνοντας έτσι τις ανησυχίες για την καθυστέρηση. Η ενσωμάτωση αυτού του συγκερασμού διευκολύνει την επεξεργασία και την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στην περιφέρεια του δικτύου, επιτρέποντας έτσι την επιτάχυνση της διάρκειας απόκρισης, τις βελτιωμένες δυνατότητες λήψης αποφάσεων και τη βελτιστοποιημένη κατανομή των πόρων.

6. Η εφαρμογή της προβλεπτικής συντήρησης συνεπάγεται την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του 5G, το οποίο περιλαμβάνει συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας και ελάχιστη καθυστέρηση. Αυτό επιτρέπει στον βιομηχανικό εξοπλισμό και τα μηχανήματα να μεταδίδουν αποτελεσματικά σημαντικούς όγκους δεδομένων σε πλατφόρμες ανάλυσης που βασίζονται στο cloud. Τα προαναφερθέντα δεδομένα διαθέτουν τη δυνατότητα να υποβάλλονται σε ανάλυση σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας έτσι την εφαρμογή αλγορίθμων προληπτικής συντήρησης που μπορούν να εντοπίσουν αποτελεσματικά πιθανές βλάβες ή ανωμαλίες. Αυτό, με τη σειρά του, διευκολύνει τη βελτιστοποίηση των χρονοδιαγραμμάτων συντήρησης και τη μείωση του μη προγραμματισμένου χρόνου διακοπής λειτουργίας, όπως τονίζεται από τους Panwar και συν. (2016).

7. Η εφαρμογή δικτύων 5G διευκολύνει την αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνία μεταξύ των αυτόνομων συστημάτων και των αντίστοιχων κέντρων ελέγχου τους. Στο πλαίσιο των βιομηχανικών περιβαλλόντων, η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τη διευκόλυνση της λειτουργίας αυτόνομων οχημάτων, μη επανδρωμένων αεροσκαφών και ρομποτικών συστημάτων, επιτρέποντάς τους να λειτουργούν με συνεργατικό και ευφυή τρόπο, χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση. Τα αυτόνομα συστήματα έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν διάφορες εργασίες, όπως ενδεικτικά η διαχείριση αποθεμάτων, ο χειρισμός υλικών και οι επιθεωρήσεις, με αυξημένη αποτελεσματικότητα και ασφάλεια.



Εικόνα 8: Λύσεις με το 5g. Πηγή: Prose Technologies.

Στο σύνολό της, η αξιοποίηση των δικτύων 5G στο πλαίσιο εφαρμογών έξυπνων βιομηχανικών δικτύων παρουσιάζει πληθώρα προοπτικών για την ενίσχυση της παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας και της ασφάλειας σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η σύγκλιση της ταχείας συνδεσιμότητας, της ελάχιστης καθυστέρησης και των εξελιγμένων λειτουργιών, όπως η ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), της επαυξημένης πραγματικότητας/εικονικής πραγματικότητας (AR/VR), της υπολογιστικής ακμής και της προγνωστικής συντήρησης, έχει τη δυνατότητα να μετασχηματίσει βαθιά τις βιομηχανικές λειτουργίες και να διευκολύνει την ευρεία εφαρμογή των αρχών της Βιομηχανίας 4.0 (Kamaruddin & Wahab, 2020).

Η επικείμενη εκδήλωση θα παρουσιάσει και θα συμμετάσχει σε διάλογο γύρω από ένα ζεύγος πρωτοποριακών τεχνολογιών, παράλληλα με την εξέταση των πρόσφατων εξελίξεων σε αυτόν τον τομέα. Η ανάπτυξη του δικτύου 5G αναμένεται να ξεκινήσει σε πολλές χώρες, αρχής γενομένης από το έτος 2020. Σε απάντηση στην αυξανόμενη ανάγκη για την επερχόμενη επανάληψη των δικτύων 5G, ένα πλήθος εκκολαπτόμενων τεχνολογιών προωθείται τόσο από εταιρικές οντότητες όσο και από ακαδημαϊκούς

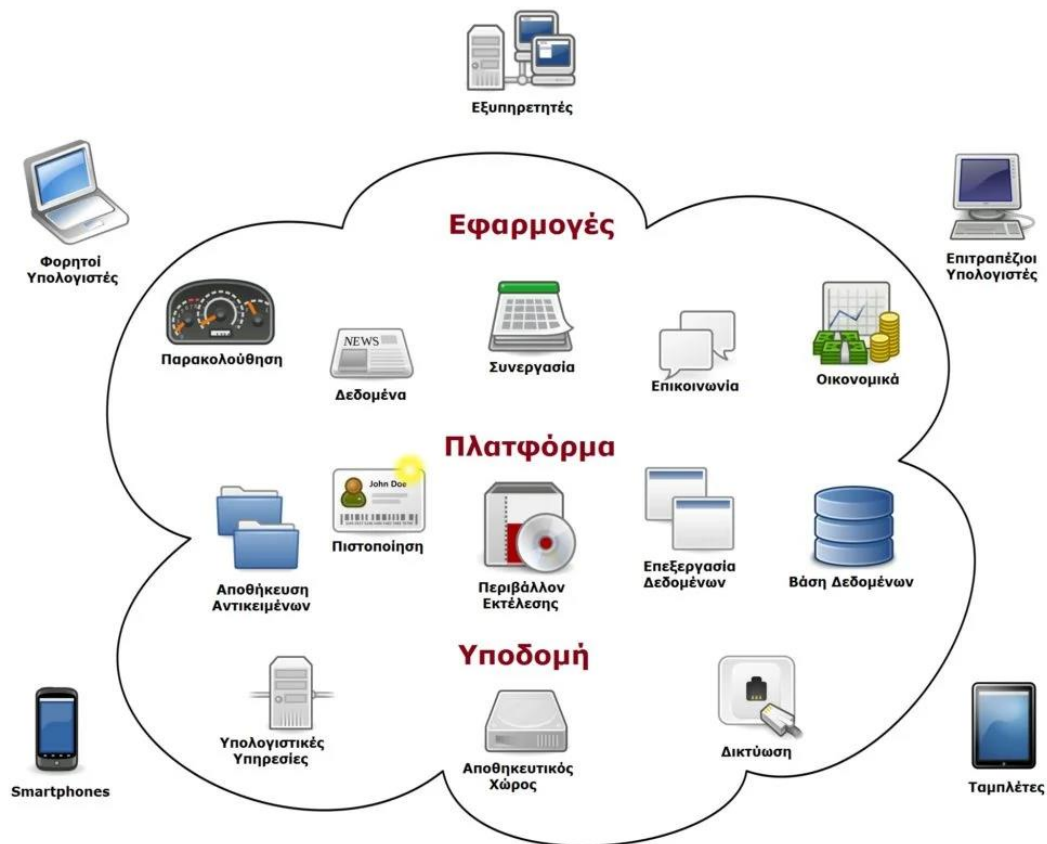
μελετητές. Το αρχικό τμήμα θα περιλαμβάνει το σύνολο των συστατικών στοιχείων του δικτύου. Έχει παρατηρηθεί η εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain, όπου το bitcoin αναλαμβάνει κεντρικό ρόλο ως κύριο συστατικό της. Τελικά, μια πληθώρα άλλων μελετητών έχουν χρησιμοποιήσει τις μεθοδολογίες και τα μέσα που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας. Στο πλαίσιο της σχετικής βιβλιογραφίας, στόχος μας είναι να διευκολύνουμε την πρόοδο της τεχνολογίας 5G μέσω της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας blockchain (Kamaruddin & Wahab, 2020).

Τεχνολογία 5ης γενιάς

Η συνεχιζόμενη ανάπτυξη των κυψελοειδών δικτύων 5G αποσκοπεί στην άμβλυνση της κλιμακούμενης ζήτησης για αυτόνομα οχήματα και υπηρεσίες που υποστηρίζονται από το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), όπως έξυπνες οικιακές συσκευές. Το έργο σύμπραξης 3ης γενιάς (3GPP) δημοσίευσε πρόσφατα τη μελέτη 5G στην έκδοση 14, με στόχο τη διερεύνηση της σκοπιμότητας της τεχνολογίας 5G. Με βάση τις τρέχουσες προβλέψεις, αναμένεται ότι η οριστικοποίηση των προδιαγραφών του 5G θα ολοκληρωθεί έως το έτος 2020.

Υπολογιστικό νέφος/υπολογιστική αιχμή

Κατά την έλευση της εποχής 5G, η υπολογιστική νέφος εμφανίστηκε ως λύση για την αντιμετώπιση των κλιμακούμενων απαιτήσεων που αφορούν τη διαχείριση πόρων, την αποθήκευση δεδομένων και την κινητή αντίχρεωση. Η αξιοποίηση των παραδειγμάτων υπολογιστικού νέφους και των εικονικών υπολογιστικών κέντρων, τα οποία διαθέτουν άφθονους υπολογιστικούς πόρους, παρουσιάζει μια βιώσιμη προσέγγιση για την παροχή υπηρεσιών 5G που περιλαμβάνουν τη διαχείριση κινητικότητας/δικτύου, την εκφόρτωση πόρων και την αίσθηση. Στο σημερινό τοπίο, αξίζει να σημειωθεί ότι η υπολογιστική νέφος έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη οδός για τη διευκόλυνση της ανάπτυξης οικοσυστημάτων 5G. Ωστόσο, είναι εξίσου σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι η υπολογιστική ακμή έχει επίσης συγκεντρώσει την προσοχή ως βιώσιμη τεχνολογική λύση για την επέκταση των οικοσυστημάτων 5G. Ο πρωταρχικός στόχος του edge computing είναι να διευκολύνει τους φορείς εκμετάλλευσης κινητών δικτύων στην παροχή υπηρεσιών υπολογισμού και αποθήκευσης με σημαντικά μειωμένη καθυστέρηση (Shrestha et al., 2020).



Εικόνα 9: Υπολογιστικό νέφος. Πηγή: Χώρος Μάθησης.

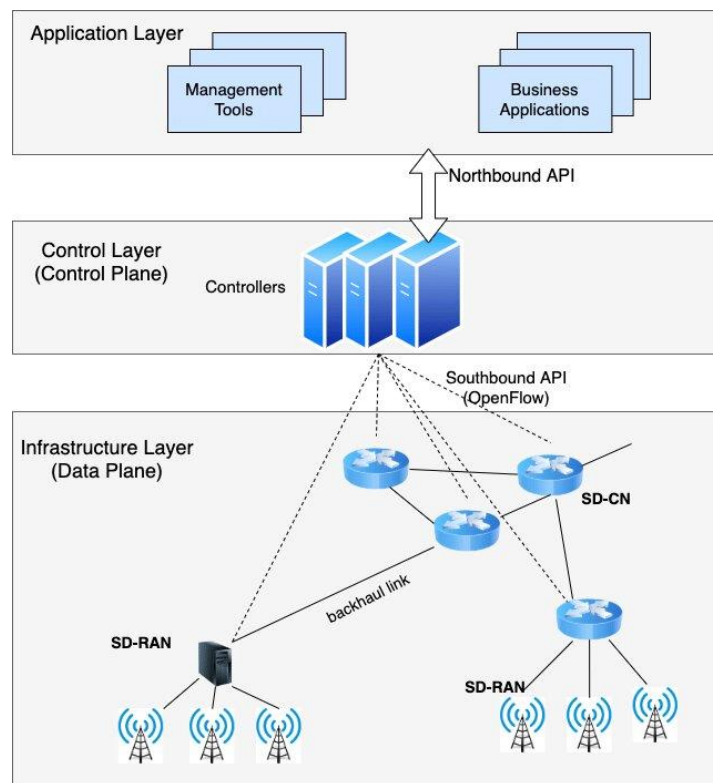
Δικτύωση που καθορίζεται από λογισμικό

Η δικτύωση που καθορίζεται από το λογισμικό (SDN) είναι ένα παράδειγμα που αξιοποιεί το λογισμικό, το οποίο ενδεχομένως εκτελείται σε τυπικό υλικό, σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς μεταγωγείς ή δρομολογητές, προκειμένου να δώσει στους χρήστες τη δυνατότητα να διαχειρίζονται και να χειρίζονται τον εξοπλισμό του δικτύου. Το SDN επιτρέπει τον κεντρικό έλεγχο και τον συντονισμό ποικίλων εφαρμογών και υπηρεσιών σε ολόκληρο το δίκτυο με ιδιαίτερα προσαρμοστικό τρόπο. Ο διαχωρισμός της διαχείρισης του δικτύου από το επίπεδο δεδομένων, όπου ένα μοναδικό επίπεδο ελέγχου εποπτεύει πολλαπλές συσκευές, διευκολύνει την εισαγωγή ποικίλων λειτουργιών δικτύου. Ο εν λόγω διαχωρισμός διευκολύνει την ευελιξία του δικτύου και τον κεντρικό έλεγχο, προικίζοντας έτσι το δίκτυο με την απαιτούμενη παγκόσμια

ορατότητα για την άμεση αντιμετώπιση των εξελισσόμενων απαιτήσεων των τελικών χρηστών (Shrestha et al., 2020).

Εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου

Το Software-Defined Networking (SDN) και το Network Function Virtualization (NFV) είναι δύο αναπόσπαστα συστατικά των δικτύων πέμπτης γενιάς (5G) που παρουσιάζουν μια αρμονική συνέργεια όταν αναπτύσσονται παράλληλα. Η Εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV) διευκολύνει την εικονικοποίηση και την επακόλουθη εκτέλεση ολοκληρωμένων λειτουργιών δικτύου σε υποδομές βασισμένες στο νέφος. Και οι δύο τεχνολογίες παρουσιάζουν το χαρακτηριστικό της αφαίρεσης σε όλο το δίκτυο και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την έννοια της εικονικοποίησης. Αυτό διευκρινίζει τις εντυπωσιακές ομοιότητες που υπάρχουν μεταξύ του Software-Defined Networking (SDN) και του Network Functions Virtualization (NFV). Η στρατηγική δικτύωσης καθορισμένη από λογισμικό (SDN) συνεπάγεται το διαχωρισμό των λειτουργιών ελέγχου και προώθησης, σε αντίθεση με τη στρατηγική εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου (NFV), η οποία περιλαμβάνει το διαχωρισμό και των δύο υπηρεσιών από το υποκείμενο υλικό (Shrestha et al., 2020).



Εικόνα 10: SDN και 5g. Πηγή: Research Gate.

Από συσκευή σε συσκευή

Επί του παρόντος, η σύνθεση των κυψελοειδών δικτύων αποτελείται από σταθμούς βάσης και διασυνδεδεμένες συσκευές. Η επικοινωνία πρέπει να διεξάγεται μέσω του σταθμού βάσης, ακόμη και στις περιπτώσεις όπου οι δύο συσκευές βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Οι επικοινωνίες D2D βελτιώνουν την απόδοση του κυψελοειδούς δικτύου αυξάνοντας τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων κοντά στην περιφέρεια της κυψέλης. Αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί για τη δημιουργία μοναδικών εφαρμογών και υπηρεσιών (Wang et al., 2019).

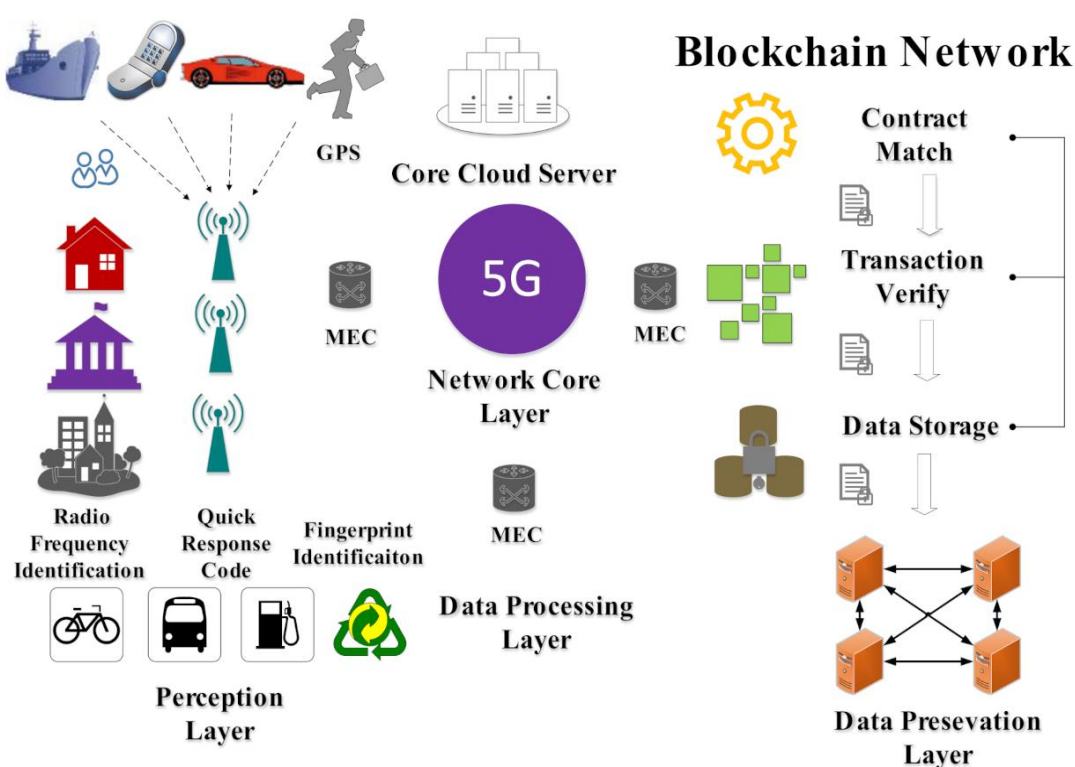
Τεμαχισμός δικτύου

Ο τεμαχισμός δικτύου διευκολύνει τη δημιουργία διακριτών λογικών δικτύων που προσαρμόζονται ώστε να ικανοποιούν τις μοναδικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) διαφόρων εφαρμογών. Η δημιουργία ενός συνεκτικού δικτύου διευκολύνει την εισαγωγή νέων προϊόντων και υπηρεσιών στην αγορά, τα οποία μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις της αγοράς. Ως ακαδημαϊκός, είναι αξιοσημείωτο να εξεταστεί ο σχεδιασμός μιας φέτας δικτύου επαυξημένης πραγματικότητας (AR) με πρωταρχική εστίαση στην επίτευξη υψηλής απόδοσης και χαμηλής καθυστέρησης. Αντίθετα, όταν εξετάζεται μια άλλη φέτα δικτύου αφιερωμένη σε μαζικές εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), καθίσταται επιτακτική ανάγκη να δοθεί προτεραιότητα σε χαρακτηριστικά όπως η υψηλή αξιοπιστία και η ασφάλεια (Wang et al., 2019).

Τεχνολογία Blockchain

Το Bitcoin αναγνωρίζεται ευρέως ως η θεμελιώδης πλατφόρμα πάνω στην οποία βασίζεται η επαναστατική τεχνολογία που είναι γνωστή ως blockchain. Το εξέχον χαρακτηριστικό μιας αλυσίδας μπλοκ έγκειται στην εγγενή ιδιότητα της αποκέντρωσης. Η παρατήρηση αυτή υποδηλώνει ότι η βάση δεδομένων παρουσιάζει κατανεμημένη αρχιτεκτονική και όχι συγκεντρωτική, ειδικά στο πλαίσιο των υπολογιστικών συστημάτων. Μια δημόσια αλυσίδα μπλοκ χαρακτηρίζεται από τον χωρίς άδεια χαρακτήρα της, σε αντίθεση με μια ιδιωτική αλυσίδα μπλοκ. Άτομα με διαφορετικό υπόβαθρο διαθέτουν την ικανότητα να συμμετέχουν σε ένα δημόσιο δίκτυο blockchain, συμμετέχοντας σε συναλλαγές και συμβάλλοντας ταυτόχρονα στον μηχανισμό συναίνεσης. Το Bitcoin και το Ethereum αναγνωρίζονται ευρέως ως εξέχοντα παραδείγματα εφαρμογών δημόσιας αλυσίδας μπλοκ. Είναι επιτακτική

ανάγκη τα σύνολα δικαιωμάτων των συμμετεχόντων να ενσωματώνουν μια μεθοδολογία επικύρωσης. Η κατανόηση του εννοιολογικού υποβάθρου και των θεμελιωδών χαρακτηριστικών της αλυσίδας μπλοκ είναι υψίστης σημασίας για την αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού της τεχνολογίας αλυσίδας μπλοκ στο πλαίσιο των δικτύων 5G. Σε αυτή την εισαγωγική ομιλία, θα ξεκινήσουμε με τη διευκρίνιση των θεμελιωδών συστατικών στοιχείων ενός δικτύου blockchain. Μετά την επίτευξη μιας ολοκληρωμένης κατανόησης των προαναφερθεισών εννοιών, θα προχωρήσουμε στην επεξήγηση της αναγκαιότητας της αμετάβλητης λειτουργίας, της αποκέντρωσης, της διαφάνειας, της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας ως κεντρικών συστατικών στοιχείων στο πεδίο των λύσεων blockchain για δίκτυα και υπηρεσίες 5G, όπως διατυπώθηκε από τους Wang και συν. (2019).



Εικόνα 11: 5g και blockchain. Πηγή: MDPI.

Η αμεταβλητότητα αναφέρεται στο εγγενές χαρακτηριστικό ενός βιβλίου blockchain, όπου μόλις καταγραφούν τα δεδομένα των συναλλαγών, καθίστανται αμετάβλητα. Το φαινόμενο αυτό προκύπτει λόγω του εγγενούς σχεδιασμού της αλυσίδας μπλοκ, όπου κάθε μεμονωμένο μπλοκ υφίσταται μια διαδικασία

κατακερματισμού και επακόλουθης σύνδεσης, δημιουργώντας έτσι μια αμετάβλητη και απαραβίαστη δομή που διασφαλίζει την ακεραιότητα των πληροφοριών που περικλείονται σε κάθε μπλοκ. Ένα εξέχον χαρακτηριστικό που ενυπάρχει στην τεχνολογία blockchain αφορά την αποθήκευση και τη διάδοση των δεδομένων. Στη σφαίρα των εφαρμογών 5G, όπως η ασφαλής κοινή χρήση φάσματος, η επικοινωνία μεταξύ συσκευών (D2D) και η εικονικοποίηση δικτύου με διατήρηση της ιδιωτικότητας, το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό χρησιμεύει για τη διευκόλυνση της ασφαλούς αποθήκευσης και μεταφοράς δεδομένων. Οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν ασφαλή πρωτόκολλα επικοινωνίας προκειμένου να διευκολύνουν την ετερογενή δικτύωση και την πληροφορική σε περιβάλλοντα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) χωρίς εμπιστοσύνη. Αυτά τα περιβάλλοντα μπορεί να περιλαμβάνουν εκτεταμένες συνεργασίες IoT ή σενάρια υπολογισμού κινητής ακμής / υπολογιστικού νέφους.

Η αποκέντρωση αναφέρεται στο εγγενές χαρακτηριστικό της αλυσίδας μπλοκ, κατά το οποίο λειτουργεί χωρίς εξάρτηση από οποιαδήποτε κεντρική αρχή ή οντότητα για τη διακυβέρνηση της βάσης δεδομένων της. Οι μηχανισμοί συναίνεσης, όπως ο ευρέως χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος proof-of-work (POW), εφαρμόζονται με πρωταρχικό στόχο τη διασφάλιση της ισχυρής ασφάλειας της βάσης δεδομένων. Το προαναφερθέν κομβικό χαρακτηριστικό διευκολύνει την ανάκτηση δεδομένων με εξαιρετική αμεταβλητότητα και διάρκεια, παράλληλα με ελάχιστη καθυστέρηση (Osman et al., 2022).

Η διαφάνεια είναι ένα εξέχον χαρακτηριστικό των αλυσίδων μπλοκ, με παράδειγμα αυτό που χρησιμοποιείται στο πλαίσιο του bitcoin, όπου το σύνολο των δεδομένων των συναλλαγών είναι άμεσα προσβάσιμο σε όλους τους συμμετέχοντες. Με την ενσωμάτωση όλων των κόμβων του δικτύου, ο οργανισμός διευκολύνει την καλλιέργεια της διαφάνειας, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση της ακεραιότητας των δεδομένων. Η τήρηση ανοικτών και δίκαιων αρχών αποκτά ύψιστη σημασία στο πλαίσιο ενός οικοσυστήματος 5G. Οι λύσεις διαφανούς λογιστικού βιβλίου σε αλυσίδες μπλοκ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτελεσματική διευκόλυνση της μεταφοράς και πληρωμής δεδομένων με τρόπο ανοικτό και ασφαλή. Επιπλέον, οι λύσεις αυτές προσφέρουν το πλεονέκτημα της ακριβούς ταυτοποίησης των πόρων και της τμηματοποίησης των πελατών. Κατά συνέπεια, είναι εύλογο ότι υπηρεσίες όπως το εμπόριο κινητών πόρων, ειδικά στο πλαίσιο του Διαδικτύου των πραγμάτων 5G (IoT),

θα μπορούσαν ενδεχομένως να υποστούν αυτοματοποίηση μέσω της αξιοποίησης της τεχνολογίας blockchain και της εφαρμογής έξυπνων συμβάσεων. Αυτό θα ενίσχυε αποτελεσματικά τη διαφάνεια και την αξιοπιστία της ανταλλαγής δεδομένων για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς.

Ασφάλεια και προστασία της ιδιωτικής ζωής: Μια αποτελεσματική προσέγγιση για τη διασφάλιση της ακεραιότητας της αλυσίδας μπλοκ περιλαμβάνει τη χρήση ιδιωτικών και δημόσιων κλειδιών. Μέσω της αξιοποίησης της ασύμμετρης κρυπτογραφίας, όπου η δημιουργία κλειδιών διευκολύνεται με την απασχόληση τυχαίων συμβολοσειρών, το απόρθητο της ασφάλειας της αλυσίδας μπλοκ καθίσταται ανυπέρβλητο για τους πιθανούς επιτιθέμενους. Επιπλέον, τα εγγενή χαρακτηριστικά του αμετάβλητου και της ομοφωνίας εντός της αρχιτεκτονικής της αλυσίδας μπλοκ συμβάλλουν στη διατήρηση της ιδιωτικότητας των βάσεων δεδομένων που είναι αποθηκευμένες στην αλυσίδα μπλοκ. Κάθε μεμονωμένος χρήστης έχει τη δυνατότητα να πιστοποιεί τον εαυτό του και να διατηρεί την ακεραιότητα των δεδομένων του σε ολόκληρο το δίκτυο. Τα δεδομένα που περιέχονται στο προαναφερθέν μπλοκ διαφυλάσσονται μέσω της εφαρμογής της κατακερματισμού και των στενωπών εξόρυξης, όπως εκθέτουν οι Osman και συν. (2022).

Τον τελευταίο καιρό, η πρακτική εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain έχει παρατηρηθεί σε πραγματικά σενάρια που αφορούν τη χρήση των δικτύων 5G, όπως αποδεικνύεται από διάφορες μελέτες περίπτωσης. Το Υπουργείο Βιομηχανίας και Τεχνολογίας Πληροφοριών (MIIT) στην Κίνα έχει ξεκινήσει ένα έργο με στόχο την ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain στις υπάρχουσες πλατφόρμες 5G των διακεκριμένων κινεζικών κατασκευαστών κινητών τηλεφώνων, δηλαδή των China Mobile, China Unicom και China Telecom. Η υλοποίηση της πρωτοβουλίας πραγματοποιείται σε πανεθνική κλίμακα. Νωρίτερα φέτος, μια συνεργατική προσπάθεια μεταξύ της China Unicorn και της Wanxiang Blockchain είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας κοινοπραξίας με στόχο την εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain και της τεχνολογίας εφοδιαστικής αλυσίδας του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) εντός της κινεζικής αγοράς (Osman et al., 2022).

Δικτύωση καθορισμένη από λογισμικό

Μέσω της εφαρμογής του Δικτύου Προσδιορισμένου Λογισμικού (SDN), η χρήση των πόρων του δικτύου μπορεί να βελτιστοποιηθεί, οδηγώντας σε αυξημένη

αποδοτικότητα. Επιπλέον, η ταχεία ανάπτυξη νέων υπηρεσιών που βασίζονται στο πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP) καθίσταται εφικτή με την ενσωμάτωση του SDN. Η αντιμετώπιση της επεκτασιμότητας, των επιδόσεων, της αξιοπιστίας και της διαλειτουργικότητας στο πλαίσιο των δικτύων 5G μπορεί πράγματι να επιτευχθεί μέσω της αξιοποίησης της τεχνολογίας blockchain. Προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη αξιοποίηση του Δικτύου Καθορισμένου από Λογισμικό (SDN) στο πλαίσιο του 5G και των μελλοντικών δικτύων, είναι επιτακτική ανάγκη να αντιμετωπιστεί ένα πλήθος προκλήσεων και εμποδίων.

Η έννοια της αποκέντρωσης στο πλαίσιο της δικτύωσης που καθορίζεται από λογισμικό (SDN) αφορά την κατανομή του ελέγχου και της εξουσίας λήψης αποφάσεων σε πολλαπλές οντότητες αντί να βασίζεται σε έναν μόνο ελεγκτή SDN. Αυτή η αρχιτεκτονική προσέγγιση αποσκοπεί στον μετριασμό των δυνητικών κινδύνων που συνδέονται με έναν εκτεθειμένο ελεγκτή SDN, ο οποίος θα μπορούσε να οδηγήσει σε ένα μοναδικό σημείο αποτυχίας λόγω της αποκλειστικής παρουσίας του. Η ανάπτυξη μιας κατανεμημένης αρχιτεκτονικής δικτύωσης καθορισμένου λογισμικού (SDN) κρίνεται επιβεβλημένη, ιδίως υπό το πρίσμα της συμπερίληψης ενός εφεδρικού ελεγκτή που διαθέτει την ικανότητα να ρυθμίζει αποτελεσματικά τη ροή της κυκλοφορίας του δικτύου. Οι πρωταρχικές ανησυχίες για την επίτευξη της επεκτασιμότητας είναι η αξιοπιστία, η συνέπεια και η διαλειτουργικότητα, οι οποίες είναι αμοιβαία συνυφασμένες (Gupta et al., 2021).

Η επεκτασιμότητα είναι μια θεμελιώδης πτυχή του σχεδιασμού του Δικτύου Οριζόμενου από Λογισμικό (SDN), η οποία περιλαμβάνει τη χρήση κεντρικών ή μερικώς κατανεμημένων ελεγκτών. Αυτοί οι ελεγκτές δημιουργούν συνδέσεις με ένα πλήθος συσκευών δικτύου και συντονίζουν αποτελεσματικά τα επίπεδα δεδομένων σε πολυάριθμες συσκευές. Καθώς κλιμακώνεται η ποσότητα των ταυτόχρονων πελατών ή παικτών. Η ανάπτυξη του Δικτύου Καθορισμένου από Λογισμικό (SDN) συχνά γίνεται αντιληπτή ως κάτι παρόμοιο με ένα λειτουργικό σύστημα δικτύου, το οποίο χαρακτηρίζεται από μια μοναδική αρχιτεκτονική επιπέδου ελέγχου και δεδομένων, η οποία με τη σειρά της προκαλεί καθυστέρηση. Το φαινόμενο αυτό μπορεί δυνητικά να οδηγήσει σε αυξημένη καθυστέρηση και μείωση της απόδοσης του δικτύου σε εκτεταμένες υποδομές δικτύου. Οι χρονικές μετρικές που εξετάζονται είναι ο χρόνος αντίδρασης του ελεγκτή και ο χρόνος ανακύκλωσης του ελεγκτή.

Η διασφάλιση του ελεγκτή έχει ύψιστη σημασία στο πεδίο των λύσεων ασφαλείας. Η έλλειψη καθιερωμένων προτύπων και κανονισμών ανάπτυξης λογισμικού δημιουργεί την πιθανότητα εμφάνισης τρωτών σημείων ασφαλείας. Ελλείπει έγκρισης από τους ελεγκτές SDN, είναι πιθανό ότι τρίτοι πάροχοι θα μπορούσαν δυνητικά να αποκτήσουν πρόσβαση στην υποδομή δικτύου και να χειραγωγήσουν τους κανόνες ελέγχου χωρίς ρητή εξουσιοδότηση. Η παρακολούθηση του δικτύου είναι ένα κρίσιμο εγχείρημα που αποσκοπεί στη συνεχή επιτήρηση των δεδομένων του δικτύου, αν και με το πιθανό μειονέκτημα της ανάληψης σημαντικών γενικών εξόδων που μπορεί να έχουν επίσημο αντίκτυπο στην απόδοση του δικτύου (Gupta et al., 2021).

Εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου

Οι εικονικές μηχανές (VM) έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν υποστήριξη για διακομιστές εικονικοποίησης, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την εκτέλεση εικονικών μηχανών που διευκολύνουν τη λειτουργία διαφόρων λειτουργικών συστημάτων. Οι υποδομές νέφους χρησιμοποιούνται συχνά από πολλούς ενοικιαστές σε ένα εικονικοποιημένο περιβάλλον. Οι δυνατότητες επιθέσεων που βασίζονται στο υπολογιστικό νέφος είναι αυξημένες σε αυτό το συγκεκριμένο πλαίσιο, οδηγώντας κατά συνέπεια σε μειωμένα επίπεδα διαφάνειας και υπευθυνότητας εκ μέρους των παρόχων υπηρεσιών υπολογιστικού νέφους. Στη σφαίρα της Εικονικοποίησης Λειτουργιών Δικτύου (NFV), είναι πιθανό μια κακόβουλη οντότητα να κατασκευάσει μια Εικονική Μηχανή (VM) με σκοπό να εκτελέσει μια επίθεση άρνησης παροχής υπηρεσιών (DoS), με στόχο έναν ξεχωριστό διακομιστή. Υπό το πρίσμα αυτών των προκλήσεων, έχει αποδειχθεί ότι η τεχνολογία blockchain έχει αποδειχθεί ένα εξαιρετικά αποτελεσματικό μέσο. Λόγω των εγγενών χαρακτηριστικών της, όπως η μη αναπαραγωγικότητα, η ακεραιότητα και η μη αποκήρυξη, η χρήση της τεχνολογίας blockchain διευκολύνει την υλοποίηση δικτύων Network Function Virtualization (NFV) μέσω τριών θεμελιωδών τρόπων. Η τεχνολογία blockchain ενισχύει την ενορχήστρωση VNF παρέχοντας βελτιωμένες δυνατότητες ενορχήστρωσης, διαχείρισης δικτύου και συνολικής αξιοπιστίας του συστήματος. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας blockchain διασφαλίζει τη διασφάλιση των λειτουργιών του δικτύου, την ακεραιότητα του συστήματος και την προστασία από εσωτερικές επιθέσεις και εξωτερικές απειλές, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, κακόβουλων αλλοιώσεων εικονικών μηχανών και κατανεμημένων επιθέσεων άρνησης παροχής υπηρεσιών (DDoS). Μετά από ενδελεχή εξέταση, είναι προφανές ότι η τεχνολογία blockchain

διαθέτει την ικανότητα να πραγματοποιεί αποτελεσματικά τον έλεγχο του συστήματος και την παρακολούθηση της κατάστασης του συστήματος σε πραγματικό χρόνο, ακόμη και κατά τη διάρκεια της συνδεσιμότητας του δικτύου. Προκειμένου να αντιμετωπίσουμε τις προαναφερθείσες προκλήσεις, αναλαμβάνουμε επί του παρόντος μια ολοκληρωμένη εξέταση των τελευταίων εξελίξεων στη χρήση της τεχνολογίας blockchain για εφαρμογές Network Function Virtualization (NFV) (Gupta et al., 2021).

Τεμαχισμός δικτύου

Μια φέτα δικτύου αναφέρεται σε ένα δίκτυο που έχει χωριστεί πλήρως σε διακριτά, λογικά απομονωμένα τμήματα, καθένα από τα οποία είναι εξοπλισμένο με συσκευές 5G. Η πρωταρχική πρόκληση που συνεπάγεται ο τεμαχισμός του δικτύου αφορά την αποτελεσματική διαχείριση διαφορετικών απαιτήσεων υπηρεσιών σε πολλαπλά υποτμήματα. Η καθιέρωση αποτελεσματικής απομόνωσης μεταξύ των τμημάτων απαιτεί την εξέταση ενός ποικίλου φάσματος θεμελιωδών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, της εγγυημένης ποιότητας υπηρεσιών (QoS), της βέλτιστης αξιοποίησης των πόρων, της τήρησης των κανονισμών τιμολόγησης και των ισχυρών μέτρων ασφαλείας (Xu et al., 2020).

Blockchain για την πληροφορική

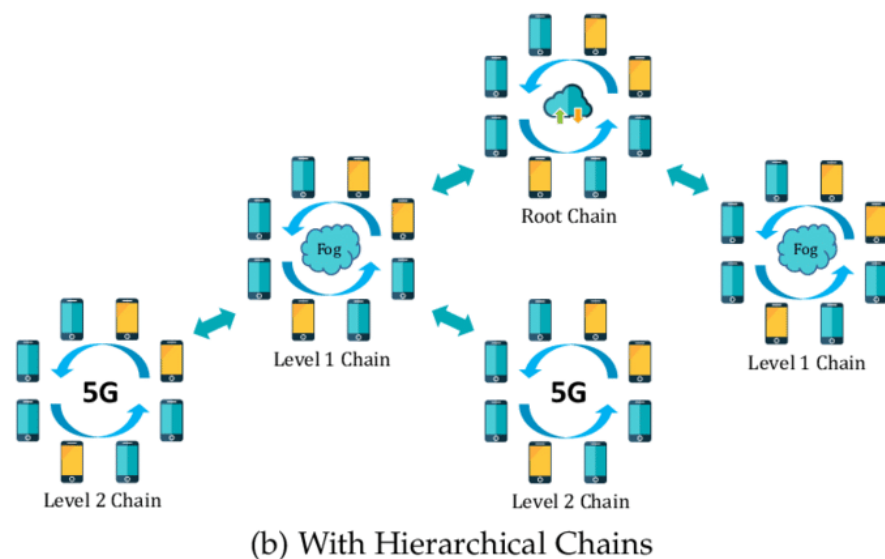
Οι δυνατότητες δικτύωσης του ακραίου δικτύου μπορούν να ενισχυθούν μέσω της χρήσης της τεχνολογίας blockchain. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας blockchain διευκολύνει τη δημιουργία ενός αποκεντρωμένου και αξιόπιστου πλαισίου ελέγχου ταυτότητας, επιτρέποντας έτσι στις συσκευές IoT που είναι τοποθετημένες στην περιφέρεια των συστημάτων IoT να διαπιστώνουν την αξιοπιστία των μηχανισμών ελέγχου ταυτότητας και την απρόσκοπτη ανταλλαγή πληροφοριών. Η διατήρηση των πληροφοριών ταυτότητας του χρήστη εντός του συστήματος μπορεί να διατηρηθεί με ασφάλεια, ενώ τα δεδομένα ελέγχου ταυτότητας και οι πληροφορίες πρόσβασης του χρήστη μπορούν να διασυνδεθούν με την αλυσίδα μπλοκ. Αυτή η αποκεντρωμένη τεχνολογία επιτρέπει την παρακολούθηση των ενεργειών του κινητού τερματικού χωρίς να βασίζεται σε μια κεντρική αρχή. Στη σύγχρονη εποχή, οι αλυσίδες μπλοκ έχουν αναδειχθεί ως μια βιώσιμη λύση για την ενίσχυση των πτυχών ασφαλείας εντός των δικτύων 5G που βασίζονται στο νέφος. Το BlockONet είναι ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που επιδιώκει να ενισχύσει τις πτυχές συνδεσιμότητας και ασφαλείας του fronthaul του δικτύου 5G. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας blockchain στο πλαίσιο των

δικτύων 5G cloud-RAN παρουσιάζει μια πληθώρα αξιοσημείωτων πλεονεκτημάτων. Το υποκείμενο δίκτυο χαρακτηρίζεται από μια αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική, η οποία προάγει τη δικαιοσύνη και διευκολύνει τη συναίνεση μεταξύ των συμμετεχόντων. Η εξάλειψη των σημείων συμφόρησης που προκύπτουν από αστοχίες ενός σημείου οδηγεί σε σημαντική ενίσχυση της συνολικής αξιοπιστίας και ευρωστίας του συστήματος, ενσταλάζοντας έτσι ένα αυξημένο επίπεδο εμπιστοσύνης στην απόδοσή του. Η χρήση της τεχνολογίας blockchain έχει αποδείξει την καταλληλότητά της ως την καταλληλότερη πλατφόρμα για την υποδοχή της ποικιλόμορφης, αποκεντρωμένης και ετερογενούς φύσης των δικτύων 5G. Επιπλέον, εποπτεύει επιμελώς όλες τις συναλλαγές με σκοπό τη διαπίστωση των επικρατουσών αξιών της αγοράς, βοηθώντας έτσι τόσο τους τελικούς χρήστες όσο και τους παρόχους δικτύων. Μια λύση για την προσωρινή αποθήκευση περιεχομένου σε δίκτυα άκρων που λειτουργεί σε ένα πλαίσιο με άδεια, χρησιμοποιώντας τεχνικές βαθιάς ενισχυτικής μάθησης. Η διαδικασία της προσωρινής αποθήκευσης περιεχομένου εκτελείται με απόλυτη ασφάλεια και αξιοπιστία στα αυτοκίνητα, διασφαλίζοντας την απρόσκοπτη διατήρηση της αλυσίδας μπλοκ σε καθορισμένους σταθμούς βάσης. Η πρόταση της χρήσης συναίνεσης με βάση την απόδειξη χρησιμότητας (PoU) διατυπώνεται ως μέσο για την επίτευξη συναίνεσης κατά την ενσωμάτωση συμπληρωματικών σταθμών βάσης στην υποδομή του δικτύου (Xu et al., 2020).

BLOCKCHAIN ΣΤΟ B5G/6G

Οι ανησυχίες σχετικά με την επερχόμενη τεχνολογία 6G, όπως γίνονται αντιληπτές από τον ανθρώπινο παρατηρητή, έχουν μελετηθεί διεξοδικά από τον Aazhang και τους συναδέλφους του. Επιπλέον, όπως διευκρινίζεται στην επιστημονική έρευνα που διεξήχθη από τους Biral και συν., πλήθος εμποδίων συναντάται στο πεδίο των επικοινωνιών μεταξύ μηχανών (M2M). Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη σύνοψη των προκλήσεων που αντιμετωπίζει η νέα γενιά. Σύμφωνα με την έρευνα που διεξήχθη από τους Xu και συν., οι αλυσίδες μπλοκ χρησιμεύουν ως η θεμελιώδης υποδομή για ένα τοπικό σύστημα διαχείρισης πόρων. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τόσο τους καταναλωτές όσο και τους παραγωγούς που συμμετέχουν σε μια ανοικτή και διαφανή δομή αγοράς. Η αγορά υποδιαιρείται περαιτέρω σε διακριτά τμήματα, διευκολύνοντας έτσι τη διαθεσιμότητα των πληροφοριών και ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα των συναλλαγών. Οι πιθανές μελλοντικές εφαρμογές της εφαρμογής της αλυσίδας μπλοκ υποτίθεται ότι είναι εφικτές με την αξιοποίηση των

δυνατοτήτων διαχείρισης πόρων 6G, διαμοιρασμού φάσματος, καθώς και εμπορίας υπολογιστών και ενέργειας. Επιπλέον, έχουμε ήδη συμμετάσχει σε έναν εκτενή διάλογο σχετικά με διάφορες ξεχωριστές υλοποιήσεις της τεχνολογίας blockchain και τις επακόλουθες βελτιώσεις τους στα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα (Umagiliya et al., 2021).



amount of d
a surging de
devices to en
may want to
tions to user
in the edge
chine/deep
This trend p
for machine
Over the
like APU (u
unit) and V
to mobile ch
MediaTek an

Εικόνα 12: Blockchain στο 5g. Πηγή: Science Direct

5.1 Σχετικές έρευνες

Η επιστημονική εργασία που διεξήχθη από τους Tan και συν. υποστηρίζει ότι η έλευση της τεχνολογίας 5G στις έξυπνες πόλεις καθιστά αναγκαία τη δημιουργία ενός ηλεκτρονικού αποκεντρωμένου και τροφοδοτούμενου με blockchain μηχανισμού υπηρεσιών που δημιουργεί εμπιστοσύνη στο σύστημα μαζικής αναζήτησης. Η πρόταση διευκρινίζει έναν μηχανισμό που τηρεί τα εννέα στάδια της διαδικασίας παροχής υπηρεσιών crowdsourcing με διαδοχικό τρόπο: αρχικοποίηση, υποβολή εργασιών, δημοσίευση εργασιών, λήψη εργασιών, υποβολή σχήματος, διαιτησία σχήματος, πληρωμή, επαναφορά εργασιών και αποζημίωση υπηρεσιών. Η εκτέλεση κάθε σταδίου διευκολύνεται από ένα αυτοματοποιημένο έξυπνο συμβόλαιο, με τις πληρωμές να διαβιβάζονται μέσω της αξιοποίησης της τεχνολογίας blockchain. Υπάρχει απουσία τρίτων κεντρικών θεσμικών οργάνων που εμπλέκονται στο συγκεκριμένο θέμα. Η μελέτη που διεξήχθη από τους Lee και Ma αποσκοπεί στην αντιμετώπιση του

περιορισμού της μεθοδολογίας εξαγωγής κλειδιών στην αποτελεσματική διαχείριση του πλήρους διαχωρισμού κλειδιών προς τα εμπρός. Για να ξεπεραστεί αυτή η πρόκληση, οι ερευνητές προτείνουν μια καινοτόμο προσέγγιση που αξιοποιεί την τεχνολογία blockchain. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας blockchain ως πλατφόρμα συγγραφής χρησιμοποιείται από τον συγγραφέα. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας blockchain παρουσιάζει μια εξαιρετικά περίπλοκη μεθοδολογία για την αντιμετώπιση της απαραίτητης στροφής προς την υλοποίηση των δικτύων 5G, ενσωματώνοντας την έννοια του πλήρους διαχωρισμού κλειδιών προς τα εμπρός, όπως προτείνεται από τους Umagiliya και συν. (2021).

Η κύρια έμφαση του συγγραφέα δόθηκε στο θέμα της διαχείρισης της κινητικότητας στο πλαίσιο του 5G, προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το άρθρο διευκρινίζει την αξιοποίηση του δικτύου πρόσβασης ραδιοφωνικού νέφους (C-RAN) που ενδυναμώνεται από την αλυσίδα μπλοκ (BC-RAN) στο πλαίσιο της τεχνολογίας 5G, με πρωταρχικό στόχο τον μετριασμό των κινδύνων που προκαλούνται από κακόβουλες εσωτερικές απειλές. Επιπλέον, το άρθρο εμβαθύνει στην αύξηση της κλίμακας του δικτύου blockchain μέσω της ενσωμάτωσης του πρακτικού μηχανισμού συναίνεσης Byzantine fault tolerance (PBFT), και συγκεκριμένα της παραλλαγής trust-PBFT, στο δίκτυο PeerTrust, όπως προτείνεται από τους Tong και συν. Επιπλέον, προτείνουμε την εφαρμογή ενός πλαισίου blockchain με τρεις αλυσίδες για τον σκοπό της κατάτμησης των συναλλαγών, όπου η αποθήκευση ταξινομείται σε τρία διακριτά μπλοκ. Προκειμένου να συμμετάσχει στο πρωτόκολλο PBFT, ο αλγόριθμος αξιολογεί την αξιοπιστία κάθε μεμονωμένου κόμβου, επιλέγοντας στη συνέχεια τους κόμβους που παρουσιάζουν αυξημένες τιμές εμπιστοσύνης. Η ταυτόχρονη ανάπτυξη του PeerTrust ταυτόχρονα αποδίδει ένα νέο πλεονέκτημα, την ενίσχυση της απόδοσης ανοχής σφαλμάτων με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Η ενσωμάτωση ενός μηχανισμού προσαρμογής στον αλγόριθμο περιόρισε αποτελεσματικά τις επιζήμιες επιπτώσεις που προκαλούνται από κακόβουλους κόμβους, όπως καταδεικνύεται στη μελέτη που διεξήγαγαν οι Umagiliya και συν. (2021).

Η μελέτη που διεξήχθη από τους Yazdinejad και συν. περιλαμβάνει την ενσωμάτωση ελεγκτών SDN σε μια συστάδα, χρησιμοποιώντας ένα διακριτικό πρωτόκολλο δρομολόγησης. Ο πρωταρχικός στόχος της έρευνας είναι η επινόηση μιας αρχιτεκτονικής για ελεγκτές SDN σε δίκτυα IoT που ενσωματώνει την τεχνολογία

blockchain, ενώ παράλληλα διασφαλίζει την ενεργειακή απόδοση. Ο προτεινόμενος σχεδιασμός αποσκοπεί στον μετριασμό των επιπτώσεων της κατανάλωσης ενέργειας και εισάγει μια αποτελεσματική μεθοδολογία ελέγχου ταυτότητας που βασίζεται στην κατανεμημένη εμπιστοσύνη για συσκευές IoT με περιορισμένους πόρους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αξιοποίησης της ομότιμης επικοινωνίας, συγκεκριμένα με τη χρήση του παραδείγματος P2P, μεταξύ των συσκευών IoT και των ελεγκτών SDN. Επιπλέον, χρησιμοποιείται η αξιοποίηση τόσο δημόσιων όσο και ιδιωτικών αλυσίδων μπλοκ για την ενίσχυση της συνολικής ασφάλειας και αξιοπιστίας του συστήματος. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης με δομή συστάδας παρουσιάζει ανώτερες επιδόσεις σε σύγκριση με τα καθιερωμένα πρωτόκολλα δρομολόγησης, δηλαδή τα πρωτόκολλα EESCFD, SMSN, Ad-Hoc on-demand distance vector (AODV), Ad-Hoc on-demand multipath distance vector (AOMDV) και destination sequenced distance vector (DSDV), όσον αφορά την απόδοση μετάδοσης, την καθυστέρηση και την κατανάλωση ενέργειας. Η συμβατική τεχνολογία blockchain ξεπερνιέται σε επιδόσεις από την εναλλακτική προσέγγιση που προτείνουμε. Οι Kumari και συν. διατύπωσαν μια πρόταση που περιγράφει τη χρήση μιας υποδομής ζήτησης λογισμικού μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος (UAV) με δυνατότητα blockchain στο πλαίσιο της τεχνολογίας 5G. Η πρόταση αυτή αποσκοπεί στην ενίσχυση της ασφάλειας της επικοινωνίας και της διαχείρισης του δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πρόταση αυτή δημοσιεύθηκε πρόσφατα. Η αξιοποίηση του συγκεκριμένου στοιχείου θα γεννήσει δυναμικές, ευέλικτες και σε πραγματικό χρόνο δυνατότητες λήψης αποφάσεων στο πλαίσιο των υπηρεσιών επικοινωνίας UAV. Η αρχιτεκτονική UAV προσφέρει μια λύση λογισμικού βασισμένη σε BC που διευκολύνει τη δημιουργία ενός ισχυρού και προσαρμόσιμου δικτύου επικοινωνίας, εξασφαλίζοντας τόσο την ασφάλεια όσο και την ευελιξία. Οι συγγραφείς Gupta και συν. Το σύστημα διαχείρισης δικτύου διαθέτει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί προσαρμοστικές και ρευστές δυνατότητες λήψης αποφάσεων, ακόμη και στο πλαίσιο ανοικτών δικτύων μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) με δυνατότητα 5G (Umagiliya et al., 2021).

5.2 Παραδείγματα εφαρμογών

Περιπτώσεις χρήσης έξυπνης βιομηχανίας

Η κατηγοριοποίηση των περιπτώσεων εργοστασιακής χρήσης από το 3GPP περιλαμβάνει πέντε γενικές κατηγορίες, ήτοι τον αυτοματισμό εργοστασίων, τον

αυτοματισμό διαδικασιών, την αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής και την πληροφορική παραγωγή, την εφοδιαστική και την αποθήκευση και την παρακολούθηση και συντήρηση. Κάθε κατηγορία απαιτεί συγκεκριμένες απαιτήσεις με βάση παράγοντες όπως η καθυστέρηση, ο όγκος δεδομένων, τα πρότυπα κινητικότητας και οι προδιαγραφές των περιοχών λειτουργίας. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους πλαισίου που αφορούν τις ανάγκες επικοινωνίας και λειτουργίας, οι προαναφερθείσες ταξινομήσεις οριοθετούνται στο πλαίσιο τεσσάρων διαφορετικών σεναρίων χρήσης. Οι τομείς της επαυξημένης πραγματικότητας (AR), των κινητών ρομπότ, των μηχανημάτων και των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι εξαιρετικά σημαντικοί στα σύγχρονα τεχνολογικά τοπία (Porambage et al., 2019).

1) Συσκευές υποστηριζόμενες από AR

Ο ρόλος των συσκευών επαυξημένης πραγματικότητας (AR) σε ένα έξυπνο εργοστασιακό περιβάλλον περιλαμβάνει κυρίως τον προσδιορισμό των ροών παραγωγής, την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και την παροχή βοήθειας στην εκτέλεση προκαθορισμένων εργασιών. Η συσκευή AR, όσον αφορά τη λειτουργικότητά της, έχει σχεδιαστεί για τη λήψη εικόνων και τη μετέπειτα διαβίβασή τους σε έναν διακομιστή επεξεργασίας εικόνας. Στον εν λόγω διακομιστή οι εικόνες υποβάλλονται σε μια σειρά διαδικασιών επεξεργασίας. Το αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας συνεπάγεται την παραγωγή πληροφοριών ή σημάτων ελέγχου, τα οποία στη συνέχεια μεταδίδονται πίσω στη συσκευή AR. Ο πρωταρχικός σκοπός αυτής της αναμετάδοσης είναι να διευκολύνει την εμφάνιση των προαναφερθέντων επεξεργασμένων πληροφοριών ή σημάτων ελέγχου. Οι προϋποθέσεις του δικτύου για τις συσκευές που υποστηρίζονται από την επαυξημένη πραγματικότητα (AR) περιλαμβάνουν την επιτακτική ανάγκη χαμηλής καθυστέρησης, σημαντικού όγκου δεδομένων και υψηλών ρυθμών δεδομένων. Κατά συνέπεια, οι συσκευές AR απαιτούν τη δημιουργία μιας ξεχωριστής φέτας που προορίζεται ειδικά για τις λειτουργίες AR (Porambage et al., 2019).



Εικόνα 13: Συσκευή 5g. Πηγή: Xiaomitoday.it

2) Κινητά ρομπότ

Τα κινητά ρομπότ είναι μια κατηγορία προγραμματιζόμενων μηχανών που έχουν σχεδιαστεί για να εκτελούν ένα ευρύ φάσμα διαφόρων εργασιών. Οι οντότητες αυτές μπορούν να εκδηλωθούν είτε ως αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα/συσκευές είτε ως αυτόματες/ τηλεχειριζόμενες μηχανές. Η έλευση της Βιομηχανίας 5.0 προαναγγέλλει την ενσωμάτωση συνεργατικών ρομπότ στις γραμμές παραγωγής, επιτρέποντας την αρμονική συνεργασία μεταξύ αυτών των αυτοματοποιημένων οντοτήτων και των ανθρώπινων ομολόγων τους. Στα άτομα σε αυτό το πλαίσιο ανατίθενται συγκεκριμένες αρμοδιότητες, οι οποίες περιλαμβάνουν τη συναρμολόγηση διαφόρων εξαρτημάτων, την παροχή βοήθειας στους ανθρώπινους χειριστές και τη διευκόλυνση της μετακίνησης μερικώς ή πλήρως οριστικοποιημένων προϊόντων εντός των ορίων του εργοστασιακού περιβάλλοντος. Η εισαγωγή συνεργατικών ρομπότ εντός των εργοστασίων υποκινείται κυρίως από τα πλεονεκτήματα που συνδέονται με την αυξημένη ταχύτητα αντίδρασης, τα ακριβή πρότυπα κίνησης και τις βελτιωμένες δυνατότητες προσανατολισμού. Η λειτουργική καθυστέρηση αυτών των ρομπότ θα έπρεπε να διατηρείται σε ένα ελάχιστο εύρος από 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου έως 500 χιλιοστά του δευτερολέπτου, ανάλογα με την ειδική ταξινόμηση του εν λόγω ρομπότ (Siriwardhana et al., 2020).



Εικόνα 14: Κινητά ρομπότ. Πηγή: Fierce Wireless.

3) Μηχανές και συσκευές

Οι συσκευές και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούνται στις γραμμές παραγωγής κατατάσσονται σε αυτή τη συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση. Τα προαναφερθέντα συστήματα έχουν πρόσβαση και διατηρούνται με απομακρυσμένο τρόπο, εμφανίζοντας ιδιαίτερα περιορισμένα πρότυπα κινητικότητας, καθώς και χαμηλούς ρυθμούς και όγκο δεδομένων.

4) Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Το δίκτυο αισθητήρων που αναπτύσσεται εντός των ορίων μιας εργοστασιακής εγκατάστασης παρατηρεί και καταγράφει επιμελώς τις σχετικές περιβαλλοντικές παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένων, ενδεικτικά, της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της πίεσης και άλλων τέτοιων μεταβλητών. Η συνεχής παρακολούθηση αυτών των παραμέτρων είναι εξαιρετικά σημαντική για τη διασφάλιση της διατήρησης των επιθυμητών συνθηκών στο περιβάλλον και για τον εντοπισμό και την κοινοποίηση τυχόν λειτουργικών ελλείψεων των συστημάτων, ώστε να εφαρμοστούν προληπτικά μέτρα για τον μετριασμό πιθανών περιβαλλοντικών βλαβών. Οι αισθητήρες παρακολούθησης της κατάστασης απαιτούν λειτουργία με σημαντικά μειωμένη καθυστέρηση, ενώ ορισμένοι άλλοι αισθητήρες απαιτούν καθυστέρηση περίπου 1 δευτερόλεπτο. Επιπλέον, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι στο πλαίσιο των

καθορισμένων περιπτώσεων χρήσης, η συμπερίληψη των εργαζομένων στο εργοστάσιο, των προϊόντων και των γενικών υπηρεσιών εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής μιας ολοκληρωμένης και περιεκτικής γενικής περίπτωσης χρήσης. Στο πλαίσιο αυτής της συγκεκριμένης περίπτωσης χρήσης, αξίζει να αναφερθεί ότι η πτυχή της καθυστέρησης δεν έχει σημαντική σημασία και, ως εκ τούτου, δεν καθιστά αναγκαία την απαίτηση για εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς δεδομένων (Siriwardhana et al., 2020).

Ταξινόμηση τεμαχισμού δικτύου

Οι φορείς εκμετάλλευσης έχουν τη δυνατότητα να αναπτύσσουν φέτες δικτύου με διάφορους τρόπους προκειμένου να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του δικτύου για κάθε ξεχωριστή περίπτωση χρήσης και εφαρμογή. Η ταξινόμηση των συστημάτων δικτύου μπορεί να εξεταστεί διεξοδικά μέσω τριών διακριτών κατηγοριών: Ταξινόμηση με βάση την ιδιοκτησία, ταξινόμηση με βάση τη δυναμική και ταξινόμηση με βάση την εφαρμογή.

1) Η κατηγοριοποίηση των οντοτήτων με βάση το καθεστώς ιδιοκτησίας τους αποτελεί θεμελιώδη πτυχή της οργανωτικής ανάλυσης. Αυτό το πλαίσιο ταξινόμησης επιτρέπει τη συστηματική εξέταση διαφόρων οντοτήτων, όπως επιχειρήσεις, ιδρύματα και περιουσιακά στοιχεία, με βάση την Η προαναφερθείσα ταξινόμηση βασίζεται στην κομβική λειτουργία της δημιουργίας φέτας, της διαχείρισης ρυθμίσεων και της συνολικής διαχείρισης φέτας δικτύου. Η έννοια του L5GO Slicing, επίσης γνωστή ως Local 5G Operator, αντιπροσωπεύει μια καινοτόμο προσέγγιση που επιτρέπει τη δημιουργία τοπικών κυψελοειδών δικτύων. Αυτά τα δίκτυα έχουν σχεδιαστεί για να καλύπτουν τις μοναδικές απαιτήσεις δικτύου συγκεκριμένων κάθετων κλάδων εντός μιας γεωγραφικά περιορισμένης περιοχής. Για παράδειγμα, οι καθετοποιήσεις των έξυπνων νοσοκομείων, των εργοστασίων και των πανεπιστημίων μπορούν να εξυπηρετηθούν αποτελεσματικά από ένα αποκλειστικό τοπικό δίκτυο. Η έννοια L5GO παρουσιάζει σημαντική αύξηση της προσοχής λόγω της ικανότητάς της να ανταποκρίνεται στις ειδικές ανάγκες και υπηρεσίες μιας συγκεκριμένης καθετοποίησης ή τοποθεσίας, ξεπερνώντας τη συμβατική έννοια του MNO που εξυπηρετεί κυρίως το ευρύ κοινό. Από τη σκοπιά της ανάπτυξης του slicing, είναι δυνατή η περαιτέρω κατάτμηση του τοπικού δικτύου προκειμένου να εξυπηρετηθούν οι ειδικές απαιτήσεις δικτύου των επιμέρους περιπτώσεων χρήσης. Στη σφαίρα του τεμαχισμού, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι η ευθύνη της διατήρησης της κυριότητας ενός

συγκεκριμένου τεμαχίου ανήκει στον τοπικό φορέα εκμετάλλευσης. Η διαμόρφωση της αρχιτεκτονικής τεμαχισμού εντός του τοπικού δικτύου παραμένει ανεπαίσθητη για τον φορέα εκμετάλλευσης κινητού δικτύου (MNO). Στο πλαίσιο της ευφυούς βιομηχανικής καθετοποίησης, η διαδικασία διαμόρφωσης φέτας μπορεί να αναληφθεί λαμβάνοντας υπόψη διάφορα σενάρια χρήσης. Σε κάθε συζητούμενη περίπτωση χρήσης μπορεί να εκχωρηθεί μια ειδική φέτα δικτύου, όπως μια φέτα που προορίζεται ειδικά για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας (AR), μια άλλη φέτα για κινητά ρομπότ, μια ακόμη φέτα για μηχανήματα και, τέλος, μια φέτα για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι μπορεί να οριστεί ένα ξεχωριστό και ανεξάρτητο τμήμα για την επαρκή αντιμετώπιση των γενικότερων δικτυακών προϋποθέσεων των τελικών χρηστών (Khan et al., 2022).

Η κατηγορία MNO Slicing περιλαμβάνει το παραδοσιακό παράδειγμα NS. Ο MNO επιβλέπει ουσιαστικά ολόκληρο τον κύκλο ζωής της φέτας, που περιλαμβάνει τη δημιουργία, τη λειτουργία, την τροποποίηση και τον τερματισμό της. Δεδομένου του πλήθους των εφαρμογών και των περιπτώσεων χρήσης που ο Διαχειριστής Δικτύου έχει αναλάβει να διαχειριστεί, η διάταξη των φέτες διαμορφώνεται σε αυξημένο επίπεδο αφαίρεσης. Οι φορείς εκμετάλλευσης κινητών δικτύων (MNO) αναπτύσσουν στρατηγικά φέτες δικτύου με βάση τις συγκεκριμένες κάθετες περιοχές που ο φορέας εκμετάλλευσης στοχεύει να υποστηρίξει και να ενεργοποιήσει. Ως ακαδημαϊκός, αξίζει να σημειωθεί ότι οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας (MNOs) συνήθως κατανέμουν διακριτές φέτες για διάφορες βιομηχανίες. Στην περίπτωση των αυτόνομων οχημάτων, δημιουργείται μια ειδική φέτα για να καλύψει ειδικά τις μοναδικές απαιτήσεις τους. Η συγκεκριμένη φέτα πληροί τις απαιτούμενες προϋποθέσεις δικτύου για όλα τα σενάρια χρήσης εντός του κάθετου τομέα. Οι συσκευές που υποστηρίζονται από AR, τα κινητά ρομπότ, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και οι μηχανές βασίζονται στο γενικότερο βιομηχανικό πλαίσιο για την εκπλήρωση των δικτυακών τους αναγκών στο πλαίσιο της κάθετης έξυπνης βιομηχανίας, όπως διευκρινίζεται στην παρούσα επιστημονική συζήτηση. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι διάφοροι τομείς πέραν του φορέα εκμετάλλευσης δικτύου χρησιμοποιούν επίσης το βιομηχανικό τμήμα και η συνολική απόδοση αυτών των τομέων επηρεάζει συλλογικά την απόδοση του εν λόγω βιομηχανικού τμήματος (Khan et al., 2022).

2) Κατηγοριοποίηση με βάση το χαρακτηριστικό του δυναμισμού.

Η εν λόγω ταξινόμηση λαμβάνει υπόψη την κατανομή των πόρων για τις φέτες εντός του δικτύου, ενώ παράλληλα λαμβάνει δεόντως υπόψη την αντίστοιχη ζήτηση για κάθε επιμέρους φέτα. Η κατανομή μπορεί να είναι είτε αποκλειστική είτε μεταβλητή, ανάλογα με την επιλεγμένη στρατηγική. Η επόμενη ενότητα εξετάζει τις μεθοδολογίες του στατικού και του δυναμικού τεμαχισμού.

Η ανάπτυξη στατικού τεμαχισμού περιλαμβάνει την κατανομή ενός προκαθορισμένου συνόλου τεμαχίων, καθένα από τα οποία διαθέτει μια συνεπή κατανομή πόρων δικτύου. Στο πλαίσιο της έξυπνης βιομηχανίας, οι καθορισμένες περιπτώσεις χρήσης αντιστοιχίζονται σε συγκεκριμένες φέτες δικτύου. Αυτές οι φέτες περιλαμβάνουν μια ποικιλία λειτουργιών, όπως μια φέτα αφιερωμένη σε συσκευές που υποστηρίζονται από την επαυξημένη πραγματικότητα (AR), μια φέτα προσαρμοσμένη για κινητά ρομπότ, μια φέτα σχεδιασμένη για μηχανές, μια φέτα αφιερωμένη σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και, τέλος, μια φέτα αφιερωμένη σε γενικές υπηρεσίες επικοινωνίας χρηστών εντός του εργοστασίου. Όπως υποδηλώνεται από την ονοματολογία της, η χωρητικότητα κάθε φέτας δικτύου παραμένει αμετάβλητη καθ' όλη τη διάρκειά της. Η συνδεσιμότητα των χρηστών εξαρτάται από την προσβασιμότητα των πόρων. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη να εκτελεστεί μια σχολαστική διαδικασία ακριβούς οριοθέτησης των φλοιών και των αντίστοιχων χωρητικοτήτων τους, προκειμένου να διασφαλιστεί η αδιάλειπτη συνδεσιμότητα των πελατών. Η διαδικασία λήψης αποφάσεων μπορεί να βασίζεται είτε σε ιστορικά δεδομένα κίνησης είτε σύμφωνα με τις συγκεκριμένες προτιμήσεις και ανάγκες του μισθωτή (Sachs et al., 2018).

Ο δυναμικός τεμαχισμός είναι μια κρίσιμη πτυχή του τεμαχισμού δικτύου (NS) που αποσκοπεί στην αποτελεσματική εξυπηρέτηση των διαφορετικών εφαρμογών που υπάρχουν στο δίκτυο. Επιδιώκει επίσης να αντιμετωπίσει τις ετερογενείς δικτυακές απαιτήσεις τόσο των προσφερόμενων υπηρεσιών όσο και των πελατών που τις χρησιμοποιούν. Η δυναμική ανάπτυξη φέτες δικτύου διευκολύνει τη δυνατότητα των φορέων εκμετάλλευσης να δημιουργούν διαφορετικές διαμορφώσεις εντός μιας κοινής υποδομής δικτύου. Η ανάπτυξη και η προσαρμογή των δυναμικά σχεδιασμένων φέτες εξαρτώνται από τις απαιτήσεις των υπηρεσιών και τη διαθεσιμότητα των πόρων εντός του δικτύου. Ο δυναμικός τεμαχισμός είναι μια τεχνική που βελτιώνει την

αποδοτικότητα της χρήσης των πόρων σε ένα δίκτυο, ανακατανέμοντας αδρανείς πόρους σε φέτες που παρουσιάζουν συμφόρηση. Σε αντιδιαστολή με ένα δίκτυο που χαρακτηρίζεται από στατικό τεμαχισμό, ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί δυναμική ανάπτυξη τεμαχίων παρουσιάζει χρονικές διακυμάνσεις στην κατανομή των πόρων στα τεμάχια. Η εγγενής πολυπλοκότητα του δυναμικού τεμαχισμού απαιτεί την προσεκτική διαχείριση και διατήρηση των αναμενόμενων προϋποθέσεων ποιότητας υπηρεσιών (QoS). Στο πλαίσιο του ευφυούς βιομηχανικού τοπίου, η διαμόρφωση της διάταξης φέτες παραμένει συνεπής με εκείνη ενός σταθερού σεναρίου. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι παράμετροι φέτες και η χρήση του εύρους ζώνης υφίστανται δυναμικές μεταβολές ως απόκριση στη ροή της κίνησης (Sachs et al., 2018).

3) Η ταξινόμηση ενός θέματος μπορεί να οργανωθεί και να κατηγοριοποιηθεί με βάση την εφαρμογή του σε διάφορα πλαίσια. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη συστηματική και ολοκληρωμένη κατανόηση του θέματος, επιτρέποντας στους ερευνητές και τους μελετητές να αναλύουν και να ερμηνεύουν το

Η διαδικασία δημιουργίας και ανάπτυξης φέτες εξαρτάται από τις συγκεκριμένες εφαρμογές που υπάρχουν στο συγκεκριμένο περιβάλλον ή, εναλλακτικά, από τις απαιτήσεις υπηρεσιών που πρέπει να ικανοποιηθούν στο δίκτυο. Κατά συνέπεια, μια στρατηγική τεμαχισμού μπορεί να κατηγοριοποιηθεί είτε ως κάθετη είτε ως οριζόντια με βάση τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την οριοθέτηση των τεμαχίων για το δίκτυο (Al-Turjman et al., 2018).

Ο κάθετος τεμαχισμός, ως στρατηγική προσέγγιση, περιλαμβάνει την κατανομή των τεμαχίων με βάση τη χρήση των περιπτώσεων χρήσης εντός του συστήματος. Στο πλαίσιο των ευφών βιομηχανικών εφαρμογών, είναι δυνατόν να οριοθετηθούν πέντε διακριτά τμήματα για τους σκοπούς της ανάπτυξης κάθετων φέτες. Τα προτεινόμενα τμήματα περιλαμβάνουν διάφορους τομείς, δηλαδή συσκευές υποβοηθούμενες από AR, κινητά ρομπότ, μηχανές, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και υπηρεσίες επικοινωνίας γενικών χρηστών. Η οριοθέτηση των διαμορφώσεων φέτας εξαρτάται από τις μοναδικές προϋποθέσεις δικτύου και υπηρεσίας που σχετίζονται με κάθε σενάριο χρήσης.

Η οριζόντια στρατηγική τεμαχισμού δίνει έμφαση στις απαιτήσεις υπηρεσιών που πρέπει να διευκολύνονται σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον, αντί να δίνει προτεραιότητα στις περιπτώσεις χρήσης. Μια συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να

απαιτεί τη χρήση μιας ή περισσότερων υπηρεσιών. Ως εκ τούτου, στο πλαίσιο μιας συγκεκριμένης εφαρμογής, μπορεί να είναι απαραίτητο το δίκτυο να υποστηρίζει την παροχή πολλαπλών υπηρεσιών. Στο πλαίσιο αυτού του συγκεκριμένου σεναρίου τεμαχισμού, είναι επιτακτική ανάγκη να εξεταστεί η διάταξη των τεμαχίων εντός του περιβάλλοντος της έξυπνης βιομηχανίας, λαμβάνοντας υπόψη την παροχή τεσσάρων διαφορετικών υπηρεσιών, καθεμία από τις οποίες έχει το δικό της μοναδικό σύνολο απαιτήσεων υπηρεσιών. Η ζήτηση για συσκευές που υποστηρίζονται από την επαυξημένη πραγματικότητα (AR) περιλαμβάνει τρεις βασικές συνιστώσες: Υπηρεσίες AR, δυνατότητες ροής βίντεο και επικοινωνία σήματος ελέγχου. Στο πλαίσιο των εκτεταμένων ασύρματων δικτύων αισθητήρων, είναι επιτακτική ανάγκη να καθιερωθεί η επικοινωνία σήματος ελέγχου. Οι μηχανές και τα κινητά ρομπότ απαιτούν μια υπηρεσία ροής βίντεο και ένα μέσο επικοινωνίας για σήματα ελέγχου. Ως εκ τούτου, στο πλαίσιο ενός βιομηχανικού οικοσυστήματος, είναι δυνατόν να οργανωθούν τέσσερα διακριτά τμήματα: ένα τμήμα αφιερωμένο στις υπηρεσίες επαυξημένης πραγματικότητας (AR), ένα τμήμα επικεντρωμένο στη ροή βίντεο, ένα τμήμα αφιερωμένο στη μετάδοση σήματος ελέγχου και ένα τμήμα για γενική επικοινωνία. Στο πλαίσιο των συσκευών που υποστηρίζονται από την επαυξημένη πραγματικότητα (AR), είναι επιτακτική ανάγκη να δημιουργηθεί συνδεσιμότητα με τρία διακριτά τμήματα εντός του συστήματος, προκειμένου να πληρούνται οι απαραίτητες απαιτήσεις δικτύου. Οι τρεις εξεταζόμενες φέτες έχουν τη δυνατότητα είτε να ανήκουν σε ένα ενιαίο σώμα επιστημονικών εργασιών είτε σε διαφορετικά σώματα επιστημονικών εργασιών, όπως υποδεικνύεται από τους Al-Turjman και συν. (2018).

Οι στρατηγικές που είναι γνωστές ως L5GO και MNO, οι οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με την ιδιοκτησία, έχουν αναγνωριστεί ως αποτελεσματικά μέσα για τη συγκέντρωση αυξημένης εστίασης σε εφαρμογές στο πεδίο της έξυπνης βιομηχανίας. Ως εκ τούτου, τα υπόλοιπα δύο συστήματα ταξινόμησης με φέτες περιλαμβάνονται στις προαναφερθείσες κατηγορίες. Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι οι ρυθμίσεις τεμαχισμού MNO δεν έχουν τη δυνατότητα να προσαρμοστούν σύμφωνα με συγκεκριμένες εφαρμογές. Κατά συνέπεια, η εστίαση στρέφεται κυρίως στην εξέταση των κάθετων και οριζόντιων τεχνικών τεμαχισμού αποκλειστικά στο πλαίσιο του οικοσυστήματος με βάση το L5GO (Hayat et al., 2019).

5G/B5G ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

Το οικοσύστημα που αφορά το 5G/B5G χρησιμεύει ως μέσο σύνδεσης του συνόλου της κοινωνίας μέσω ψηφιακών συσκευών και gadgets, προωθώντας έτσι την οικονομική ανάπτυξη νέων και εφευρετικών υπηρεσιών. Εκτός από το παράδειγμα της εικονικοποίησης του δικτύου, η εξαιρετικά προσαρμόσιμη και δυναμική αρχιτεκτονική του 5G/B5G παρουσιάζει μια πληθώρα τεχνολογιών πρόσβασης που απευθύνονται τόσο σε αδειοδοτημένους όσο και σε μη αδειοδοτημένους χρήστες και συσκευές. Η δυνατότητα επέκτασης και βελτίωσης του δικτύου 5G/B5G με τρόπο οικονομικά βιώσιμο και αυτοματοποιημένο υπόσχεται τη διευκόλυνση μετασχηματιστικών εξελίξεων σε διάφορους τομείς, μεταξύ άλλων στην αυτοκινητοβιομηχανία, τη μεταποίηση, τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, τις μεταφορές, τη δημόσια ασφάλεια, την υγειονομική περίθαλψη, τα μέσα ενημέρωσης και άλλες βιομηχανίες. Το αρχιτεκτονικό πλαίσιο του 5G/B5G περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών πρόσβασης αιχμής, όπως το WiFi, το B5G, το νέο ραδιόφωνο (NR), η ευρεία περιοχή χαμηλής ισχύος (LPWA) και η κυψελοειδής, οι οποίες διευκολύνουν την απρόσκοπτη κινητικότητα μεταξύ των προσβάσεων. Τα πρωταρχικά χαρακτηριστικά βασίζονται στις αρχές της δικτύωσης που καθορίζεται από λογισμικό (SDN) και στις εγγενείς αρχές του υπολογιστικού νέφους/εικονικοποίησης, συνοδευόμενες από ολοκληρωμένη ενορχήστρωση για τη διευκόλυνση των προσαρμόσιμων αναπτύξεων. Οι οργανισμοί τυποποίησης και οι βιομηχανικές οντότητες έχουν προσδιορίσει με επιτυχία μια σειρά από πιθανά σενάρια χρήσης της τεχνολογίας 5G, το καθένα με ξεχωριστές απαιτήσεις και προδιαγραφές. Οι προαναφερθείσες πιθανές εφαρμογές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις διακριτές ομάδες:

Η eMBB, γνωστή και ως ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα, βρίσκει χρησιμότητα στην εξυπηρέτηση εκτεταμένων συγκεντρώσεων και πυκνοκατοικημένων αστικών περιοχών που χαρακτηρίζονται από απαιτητικές προϋποθέσεις ρυθμού δεδομένων, αν και περιορισμένες διατάξεις εύρους ζώνης. Η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα, τα έξυπνα γραφεία, η ροή βίντεο 8K/4K και οι εφαρμογές νέφους απαιτούν ευρυζωνική συνδεσιμότητα με ελάχιστο ρυθμό δεδομένων 50 Mbps παντού. Επιπλέον, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί η αναγκαιότητα των υπηρεσιών ενισχυμένης κινητής ευρυζωνικότητας (eMBB) με δυνατότητα κινητής τηλεφωνίας για τη διευκόλυνση διαφόρων πτυχών, όπως η προηγμένη πλοήγηση, η ψυχαγωγία μέσα στο όχημα, η τηλεματική υποστήριξη για διάγνωση και ασφάλεια, καθώς και η ψυχαγωγία επί του σκάφους για εμπορικά αεροσκάφη (Hayat et al., 2019).

Το URLLC, ακρωνύμιο των λέξεων Ultra-Reliable Low Latency Communication, αφορά την επιτακτική ανάγκη για συστήματα επικοινωνίας που είναι ικανά να υποστηρίζουν κρίσιμες εφαρμογές. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα βασικών υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, της αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών, της δημόσιας ασφάλειας και των υπηρεσιών που βασίζονται στην τοποθεσία. Η εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (URLLC) είναι ένα παράδειγμα επικοινωνίας αιχμής που ανταποκρίνεται στη ζήτηση για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου σε σενάρια που απαιτούν γρήγορο χρόνο απόκρισης μικρότερο του 1 χιλιοστού του δευτερολέπτου. Τα σενάρια χρήσης που περιλαμβάνει η εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (URLLC) περιλαμβάνουν τομείς όπως ο βιομηχανικός αυτοματισμός που βασίζεται στον ρομποτικό έλεγχο, τα αυτόνομα συστήματα οδήγησης, οι απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις και τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Challita et al., 2019).

Το Μαζικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (mIoT) αναφέρεται σε μια κατηγορία συσκευών που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά όπως η συνδεσιμότητα μεγάλης εμβέλειας, η χαμηλού κόστους υλοποίηση και η υψηλή ενεργειακή απόδοση. Οι συσκευές αυτές έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με σπάνια και περιοδική συνδεσιμότητα με εφαρμογές νέφους και μπορούν να αναπτυχθούν σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. Οι κυψελοειδείς τεχνολογίες χαμηλής ισχύος ευρείας περιοχής (LPWA) εισήχθησαν στην έκδοση του έργου σύμπραξης 3ης γενιάς (3GPP), συγκεκριμένα η Long Term Evolution for Machine (LTE-M) και το Narrowband Internet of Things (NB-IoT). Στη συνέχεια, στην έκδοση 14, προτάθηκαν πρόσθετες βελτιώσεις, οι οποίες συνάδουν με τις εξελίξεις της αρχιτεκτονικής 5ης γενιάς/πέραν του 5G (5G/B5G).

Η φάση ανάπτυξης του 5G βρίσκεται σε εξέλιξη τα τελευταία χρόνια, κατά τη διάρκεια της οποίας οι περιορισμοί του αποτέλεσαν αντικείμενο εξέτασης και εκτεταμένης έρευνας. Η B5G αντιπροσωπεύει την εξελικτική πρόοδο πέραν του 5G, σε αντίθεση με την αναμενόμενη επαναστατική πρόοδο του 6G (Challita et al., 2019).

ΠΡΩΤΟΠΟΡΙΑ ΠΟΤ

Η έλευση της ψηφιακής και έξυπνης παραγωγής σε διάφορες βιομηχανίες επιδιώκει την ενσωμάτωση της επιχειρησιακής τεχνολογίας (OT) και της τεχνολογίας πληροφοριών (IT). Σε γενικές γραμμές, το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων

(ΠοΤ) θα δημιουργήσει μια σύνδεση μεταξύ διαφόρων βιομηχανικών περιουσιακών στοιχείων, που περιλαμβάνουν μηχανήματα και συστήματα ελέγχου, με γενικότερο στόχο την ενσωμάτωσή τους με την υποδομή της τεχνολογίας πληροφοριών (IT) και τις επιχειρηματικές διαδικασίες. Η διαδικασία της ολοκλήρωσης αποφέρει σημαντικό όγκο παραγωγής και επακόλουθης συλλογής δεδομένων. Τα προαναφερθέντα δεδομένα έχουν τη δυνατότητα να αξιοποιηθούν για την ανάπτυξη αναλυτικών λύσεων με στόχο τη βελτίωση των βιομηχανικών λειτουργιών. Η έξυπνη κατασκευή, αντίθετα, εστιάζει κυρίως στη φάση παραγωγής του κύκλου ζωής ενός έξυπνου προϊόντος, με στόχο την άμεση και προσαρμοστική αντιμετώπιση των μεταβολών της ζήτησης. Κατά συνέπεια, το βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων (ΠοΤ) ασκεί βαθιά επιρροή στη βιομηχανική αλυσίδα αξίας, ευθυγραμμιζόμενο με τα απαιτούμενα κριτήρια αναφοράς για την ευφυή κατασκευή. Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, οι μηχανές στο πεδίο του βιομηχανικού διαδικτύου των πραγμάτων (ΠοΤ) έχουν σχεδιαστεί με σκοπό την αυτόνομη επικοινωνία μεταξύ τους. Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΠοΤ) περιλαμβάνει διάφορα σενάρια, συμπεριλαμβανομένων των παραδοσιακών εφαρμογών παρακολούθησης, όπως η παρακολούθηση διαδικασιών σε εργοστάσια παραγωγής, καθώς και καινοτόμες προσεγγίσεις για συστήματα αυτοοργάνωσης, όπως αυτόνομες βιομηχανικές εγκαταστάσεις που απαιτούν ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση. Στη σφαίρα του βιομηχανικού διαδικτύου των πραγμάτων (ΠοΤ), συνηθίζεται να αντιλαμβανόμαστε τα συστήματα ως περίπλοκες, στρωματοποιημένες δομές που περιλαμβάνουν ένα πλήθος διασυνδεδεμένων ψηφιακών τεχνολογιών. Το στρώμα συσκευής περιλαμβάνει τα φυσικά συστατικά, συμπεριλαμβανομένων των κυβερνο-φυσικών συστημάτων (CPS), των αισθητήρων ή των μηχανών. Το στρώμα δικτύου περιλαμβάνει τους φυσικούς διαύλους δικτύου, το υπολογιστικό νέφος και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που διευκολύνουν τη συλλογή και τη μετάδοση δεδομένων στο στρώμα υπηρεσιών. Το στρώμα υπηρεσιών, από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνει εφαρμογές που αναλαμβάνουν το έργο του μετασχηματισμού και της συγχώνευσης δεδομένων προκειμένου να παρουσιάσουν σχετικές πληροφορίες στο ταμπλό του οδηγού (Bairagi et al., 2020).

Το στρώμα περιεχομένου, που στην καθομιλουμένη αναφέρεται ως διεπαφή χρήστη, αντιπροσωπεύει το ανώτερο στρώμα εντός της στοίβας. Το εν λόγω στρώμα περιλαμβάνει μια ποικιλία συσκευών διεπαφής χρήστη, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, των οθονών υπολογιστών, των σταθμών σημείων πώλησης (PoS), των

ταμπλετών, των έξυπνων γυαλιών και των έξυπνων επιφανειών. Το επόμενο στρώμα, γνωστό ως στρώμα υπηρεσιών, περιλαμβάνει μια σειρά εφαρμογών και λογισμικού που είναι αφιερωμένα στην ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων και τον επακόλουθο μετασχηματισμό τους σε πληροφορίες που έχουν νόημα και είναι πρακτικά αξιοποιήσιμες. Ακολούθως, η μετάδοση δεδομένων προχωρά στο επίπεδο δικτύου, όπου χρησιμοποιείται ένα πλήθος πρωτοκόλλων επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των WiFi, Bluetooth και χαμηλής εμβέλειας (LoRa). Το στρώμα συσκευής περιλαμβάνει τα απτά στοιχεία του δικτύου του βιομηχανικού διαδικτύου των πραγμάτων (IIoT), το οποίο περιλαμβάνει διάφορες οντότητες, όπως τα κυβερνοφυσικά συστήματα (CPS), τα μηχανήματα και τις αισθητήριες συσκευές. Διάφορες πιθανές περιπτώσεις χρήσης για το βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων (IIoT) έχουν προσδιοριστεί από φορείς τυποποίησης και ενδιαφερόμενους φορείς του κλάδου. Η συζήτηση που ακολουθεί θα διασαφηνίσει τις γενικές προϋποθέσεις και τους στόχους του Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων (IIoT).

- Η επιτακτική φύση μιας απαίτησης ποιότητας υπηρεσιών (QoS) που περιλαμβάνει χαμηλή καθυστέρηση και εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία δεν μπορεί να υπερτονιστεί.
- Στόχος είναι η δημιουργία ενός οικονομικά αποδοτικού και εύκολα επεκτάσιμου δικτύου που δίνει προτεραιότητα σε ισχυρά μέτρα ασφαλείας και διατηρεί την ιδιωτικότητα των χρηστών, όπως τονίζεται από τους Ali και συν. (2019).
- Η απρόσκοπτη εφαρμογή και ενσωμάτωση των αναδυόμενων προτύπων στις συσκευές IIoT θα πρέπει να εκτελείται με τρόπο που να επιτρέπει την προσαρμοστικότητα και την ευελιξία.
- Η καθιέρωση τακτικής και απρόσκοπτης διασύνδεσης μεταξύ των δικτύων και των συσκευών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) είναι υψίστης σημασίας. Επιπλέον, είναι ζωτικής σημασίας να διασφαλιστεί η ομαλή ενδο-συνδεσιμότητα εντός αυτών των δικτύων και συσκευών.

Συμπεράσματα

Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη το 2017 από τους CEO, εξετάστηκαν οι πιθανές εφαρμογές της τεχνολογίας 5G, με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό πέντε διαφορετικών υπηρεσιών που θα μπορούσαν να διευκολυνθούν και θα αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητές τους όταν τα εμπορικά δίκτυα 5G εφαρμοστούν εκτενώς. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) εξασφάλισε τη δεύτερη θέση στην κατάταξη, καθώς ένα σημαντικό 77% των ερωτηθέντων εξέφρασε την πεποίθησή του για την εκτεταμένη διευκόλυνση των περιπτώσεων χρήσης IoT μέσω της έλευσης της τεχνολογίας 5G. Το 2018, ο οίκος Gartner πραγματοποίησε έρευνα με στόχο να κατανοήσει την κλιμακούμενη ζήτηση και τις μελλοντικές στρατηγικές εφαρμογής της τεχνολογίας 5G. Τα ευρήματα αποκάλυψαν ότι ένα σημαντικό ποσοστό οργανισμών, συγκεκριμένα το 65%, εξέφρασε την πρόθεση να υλοποιήσει δίκτυα 5G με πρωταρχικό στόχο τη διευκόλυνση εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και των επικοινωνιών μέσω βίντεο έως το έτος 2020. Οι συγγραφείς, Li και συν. (2018), προσδιόρισαν τη λειτουργική αποδοτικότητα ως τον πρωταρχικό καθοριστικό παράγοντα που επηρεάζει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Η αξιοποίηση των κυβερνο-φυσικών συστημάτων και η επιδίωξη αυξημένης αυτοματοποίησης και αυτόνομης λήψης αποφάσεων σε διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων εργοστασίων, των αυτόνομων οχημάτων, των έξυπνων κτιρίων, των έξυπνων πόλεων και των συνδεδεμένων βιομηχανικών εφαρμογών, απαιτεί σημαντικούς πόρους για την αποτελεσματική διαχείριση του συνακόλουθου όγκου δεδομένων που πρέπει να συλλέγονται, να αναλύονται και να μεταδίδονται. Οι τρέχουσες τεχνολογίες δικτύων παρουσιάζουν ανεπάρκεια στην ικανοποίηση των απαιτήσεων των μελλοντικών απαιτήσεων υπερσυνδεδεσιμότητας. Στην επιδίωξη της υλοποίησης εκτεταμένων προσπαθειών για το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), είναι συχνά απαραίτητο να χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός τόσο σταθερών όσο και ασύρματων τεχνολογιών δικτύου. Η έλευση της τεχνολογίας 5G υπόσχεται πολλά από την άποψη της δυνατότητάς της να προσφέρει τα βασικά χαρακτηριστικά αξιοπιστίας, καθυστέρησης, επεκτασιμότητας, κινητικότητας και ασφάλειας που είναι απαραίτητα για την επιτυχή λειτουργία κρίσιμων υπηρεσιών στο οικοσύστημα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Οι υπάρχουσες λύσεις που αφορούν την τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) αντιμετωπίζουν σήμερα τρομερές προκλήσεις, ιδίως τον πολλαπλασιασμό των συνδέσεων κόμβων και τις ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια. Προκειμένου να ανταποκριθεί αποτελεσματικά

στις ποικίλες απαιτήσεις της βιομηχανίας και να επιτύχει εκτεταμένη υιοθέτηση, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) απαιτεί βελτιωμένα κριτήρια αναφοράς επιδόσεων σε διάφορους τομείς, όπως η ασφάλεια, η αξιοπιστία, η ασύρματη κάλυψη, η εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και η μαζική συνδεσιμότητα. Η εφαρμογή της τεχνολογίας 5G έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει διάφορα στάδια της αρχιτεκτονικής του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) (Attaran, 2021).

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας 5G έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει σημαντικά την πορεία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), διευκολύνοντας την απρόσκοπτη συνδεσιμότητα μιας εκτεταμένης σειράς ευφών συσκευών, επιτρέποντάς τους να αλληλεπιδρούν αυτόνομα και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Η πέμπτη γενιά ασύρματης τεχνολογίας, που συνήθως αναφέρεται ως 5G, αναγνωρίζεται ευρέως ως μια κομβική και μετασχηματιστική τεχνολογία που θα συμβάλει σημαντικά στη συνεχιζόμενη ευημερία και την εκτεταμένη εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Η έλευση του 5G θα εισαγάγει νέες τεχνολογίες ραδιοπρόσβασης (RAT), έξυπνες κεραίες και θα αξιοποιήσει υψηλότερες συχνότητες, απαιτώντας έτσι αναδιαμόρφωση του δικτύου ή αρχιτεκτονικές τροποποιήσεις. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας 5G με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) ενέχει τεράστιες δυνατότητες για τη διευκόλυνση της απρόσκοπτης συνδεσιμότητας ενός τεράστιου πλήθους συσκευών IoT. Επιπλέον, αυτή η σύγκλιση είναι έτοιμη να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τις αυξανόμενες απαιτήσεις της αγοράς για ασύρματες υπηρεσίες. Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς (5G) είναι έτοιμο να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τις ποικίλες απαιτήσεις του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Προκειμένου να αντιμετωπιστούν επαρκώς οι αυξανόμενες απαιτήσεις του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), είναι επιτακτική ανάγκη τόσο οι τεχνολογίες Long-Term Evolution (LTE) όσο και οι τεχνολογίες 5G να προσφέρουν νέες διεπαφές συνδεσιμότητας για την εξυπηρέτηση των επερχόμενων εφαρμογών IoT. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν επαρκώς οι ποικίλες απαιτήσεις του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), είναι επιτακτική ανάγκη τα κινητά δίκτυα 5G να εξασφαλίσουν την αποτελεσματική υποστήριξη διαφόρων στοιχείων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, των μαζικών συσκευών και των αναδυόμενων υπηρεσιών, όπως η ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα (eMBB), οι μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής, οι κρίσιμες επικοινωνίες και οι λειτουργίες δικτύου. Η έλευση της τεχνολογίας 5G προσφέρει απαραίτητες προϋποθέσεις και διάχυτη συνδεσιμότητα για τους τελικούς χρήστες,

περιλαμβάνοντας χαρακτηριστικά όπως ενισχυμένους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων, μειωμένη καθυστέρηση, ταχεία παράδοση πληροφοριών, αυξημένη προσαρμοστικότητα για την υποδοχή πλήθους συσκευών και αποτελεσματικούς μηχανισμούς χρήσης ενέργειας, μεταξύ άλλων. Η έλευση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς (5G) είναι έτοιμη να ενισχύσει το πεδίο εφαρμογής του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), περιλαμβάνοντας ένα ευρύ φάσμα συσκευών, όπως έξυπνες τηλεοράσεις, έξυπνες κάμερες ασφαλείας, έξυπνα πλυντήρια πιάτων, έξυπνους θερμοστάτες, έξυπνες συσκευές κουζίνας και διάφορα άλλα (Attaran, 2021).

Οι σημερινές υποδομές 4G και 4G LTE δεν επαρκούν για να καλύψουν τις απαιτήσεις των κινητών τηλεπικοινωνιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Η εφαρμογή της τεχνολογίας 5G παρουσιάζει μια πιθανή λύση στο προαναφερθέν ζήτημα, καθώς διαθέτει τη δυνατότητα να παρέχει ασύγκριτους ρυθμούς δεδομένων δικτύου, ξεπερνώντας αυτούς των σημερινών τεχνολογιών δικτύωσης 4G LTE. Επιπλέον, το 5G παρουσιάζει συγκριτικά χαμηλότερη καθυστέρηση και προσφέρει βελτιωμένη κάλυψη επικοινωνίας, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική εμπειρία συνδεσιμότητας. Οι ταχύτατες ταχύτητες που διευκολύνονται από το ασύρματο δίκτυο πέμπτης γενιάς (5G) θα εγκαινιάσουν νέες τεχνολογικές ανακαλύψεις. Η επερχόμενη επανάληψη της τεχνολογίας 5G αναμένεται να φιλοξενήσει ένα εκτεταμένο πλήθος συνδέσεων, που θα αριθμεί εκατοντάδες δισεκατομμύρια, παρέχοντας ταυτόχρονα ταχύτητες μετάδοσης 10 gigabits ανά δευτερόλεπτο και επιτυγχάνοντας εξαιρετικά ελάχιστη καθυστέρηση 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου. Επιπλέον, προσφέρει αυξημένο επίπεδο αξιοπιστίας σε αγροτικές περιοχές, αμβλύνοντας έτσι τις διαφορές στην παροχή υπηρεσιών μεταξύ αγροτικών και αστικών περιοχών. Ενώ το 5G βασίζεται αναμφισβήτητα στα θεμέλια που έθεσαν οι προκάτοχοί του, δηλαδή τα δίκτυα 4G και 4G LTE, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι εισάγει μια νέα αρχιτεκτονική δικτύου και μια σειρά καινοτόμων λειτουργιών, όπως η εικονικοποίηση. Αυτές οι εξελίξεις επεκτείνονται πέρα από το πεδίο των αξιοσημείωτων ρυθμών δεδομένων, προσφέροντας ένα πλήθος πρόσθετων πλεονεκτημάτων. Η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV) παρουσιάζει την ικανότητα να διαιρεί τα φυσικά δίκτυα σε πολυάριθμα εικονικά δίκτυα, επιτρέποντας έτσι την αναδιαμόρφωση των συσκευών για τη δημιουργία πολλαπλών δικτύων. Αυτό το χαρακτηριστικό θα διευκολύνει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των εφαρμογών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) που υποστηρίζονται από το 5G, προικίζοντάς τις με δυνατότητες επεξεργασίας σε

πραγματικό χρόνο. Κατά συνέπεια, αυτό θα επιφέρει αυξημένη ταχύτητα και κάλυψη, ενώ ταυτόχρονα θα εξοπλίζει τις εφαρμογές αυτές με την απαιτούμενη ικανότητα να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στις απαιτήσεις που τους επιβάλλονται. Η εικονικοποίηση θα αυξήσει επιπλέον τη βιωσιμότητα του δικτύου ραδιοπρόσβασης (RAN) στο πλαίσιο των επερχόμενων υπηρεσιών φωνής, βίντεο και δεδομένων. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας, των μεγάλων δεδομένων, του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) και της υπολογιστικής νέφους στα δίκτυα 5G θα δώσει αναμφίβολα αφορμή για ένα ευρύ φάσμα νέων εφαρμογών, καθώς αυτή η τεχνολογική πρόοδος αναπτύσσεται σταδιακά. Η έλευση της τεχνολογίας 5G προαναγγέλλει μια νέα εποχή συνδεσιμότητας, όπου μια σειρά ευφών συσκευών θα ενδυναμωθεί από τις δυνατότητές της. Οι συσκευές αυτές περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από αυτόνομα οχήματα έως φορητές συσκευές, συστήματα τηλεϊατρικής και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Οι αναμενόμενες πηγές σημαντικών εσόδων για τα δίκτυα 5G αναμένεται να προέλθουν από τον πολλαπλασιασμό των αυτόνομων οχημάτων και των συσκευών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) (Attaran, 2021).

Η εφαρμογή της τεχνολογίας δικτύωσης 5G παρουσιάζει ένα πλήθος προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου να διευκολυνθεί η ουσιαστική και ταχεία επέκτασή της. Το πρωταρχικό μέλημα των καταναλωτών και των επιχειρήσεων είναι η διατήρηση της ασφάλειας και της ιδιωτικής ζωής, ιδίως υπό το φως της αυξανόμενης διασύνδεσης των συσκευών.

Τα κύρια εμπόδια περιλαμβάνουν την τεχνολογική ωρίμανση, την παγκόσμια τυποποίηση, τους κυβερνητικούς κανονισμούς και τα οικονομικά ζητήματα. Τα ευρήματα μιας πρόσφατης μελέτης που διεξήχθη από την Ericsson έριξαν φως στις επίμονες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι εταιρείες στις προσπάθειές τους να ξεπεράσουν τα εμπόδια που δυσκολεύουν την πρακτική εφαρμογή της τεχνολογίας 5G. Τα σημαντικά εμπόδια που εντοπίστηκαν περιλαμβάνουν ανησυχίες για την ασφάλεια των δεδομένων και το απόρρητο, την απουσία τυποποιημένων πρωτοκόλλων και τις περίπλοκες προκλήσεις που σχετίζονται με την υλοποίηση από άκρο σε άκρο (Ericsson, 2018).

Η ταχύτητα της μετάδοσης του 5G αναπόφευκτα θα επιταχύνει την εμφάνιση παραβιάσεων, ενώ ο πολλαπλασιασμός μικρών κυψελών θα εισάγει ταυτόχρονα

μεγαλύτερο αριθμό ευαίσθητων εξαρτημάτων υλικού. Η έλευση της τεχνολογίας 5G συνοδεύεται από μια αξιοσημείωτη αύξηση στον πολλαπλασιασμό των σχεδίων και τεχνολογιών ανοιχτού κώδικα. Η χρήση λογισμικού ανοιχτού κώδικα προωθεί έναν αυξημένο ρυθμό καινοτομίας και διευκολύνει τις συλλογικές προσπάθειες. Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωρίσουμε ότι αυτή η προσέγγιση μπορεί επίσης να εισάγει πιθανές ευπάθειες ασφαλείας. Η έλλειψη συνέπειας και ο κατακερματισμός παραμένει σε διάφορους τομείς των τεχνολογικών προτύπων.

Ορισμένοι τομείς της τεχνολογίας εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν τεχνικούς και οριακούς περιορισμούς. Η συνειδητοποίηση του πλήρους δυναμικού της δικτύωσης 5G απαιτεί την καλλιέργεια καινοτόμων τεχνολογιών και επιχειρηματικών μοντέλων, παράλληλα με σημαντικές επενδύσεις σε νέες δυνατότητες και εξειδικευμένο προσωπικό. Η πλειονότητα των επιχειρήσεων δεν έχει ακόμη παράσχει στις ομάδες τους smartphones, σαρωτές, φορητούς υπολογιστές και, στις εγκαταστάσεις παραγωγής, έξυπνες μηχανές στο πάτωμα του εργοστασίου, όπως υποδεικνύεται από τους Osman και συν. (2022).

Η συνεχιζόμενη εξέλιξη του 5G αναμένεται να συνεχιστεί καθώς διάφορες επιχειρήσεις προσπαθούν επιμελώς προς την επόμενη φάση του. Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωρίσουμε ότι θα απαιτηθεί σημαντική χρονική διάρκεια για να επιτευχθεί η ολοκληρωμένη ανάπτυξη και η βέλτιστη χρήση των δικτύων 5G. Αναμένεται ότι η ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G θα γνωρίσει σημαντική ανάπτυξη μετά την κυκλοφορία της το 2020, με αποτέλεσμα μια σημαντική επέκταση της κάλυψης που προβλέπεται να καλύπτει λίγο περισσότερο από το ένα τρίτο του παγκόσμιου πληθυσμού σε διάστημα πέντε ετών .

Οι επιπτώσεις που προκύπτουν από την εμφάνιση ενός αυτόνομου ηλεκτρικού στόλου για τη βιομηχανία μεταφορών, την κοινωνία και την αυτοκινητοβιομηχανία είναι σημαντικού μεγέθους. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας 5G αναμφίβολα θα διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στην πραγματοποίηση ηλεκτρικών οχημάτων και στη δημιουργία αυτόνομων συστημάτων κοινής χρήσης διαδρομής. Η έλευση της τεχνολογίας 5G θα διευκολύνει τη δημιουργία περίπλοκων δικτύων που θα περιλαμβάνουν αυτόνομα οχήματα, τα οποία θα διαθέτουν τη δυνατότητα απρόσκοπτης ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ τους. Επιπλέον, αυτά τα οχήματα θα μπορούν να δημιουργούν κανάλια επικοινωνίας με διάφορες οντότητες, όπως

φανάρια, αισθητήρες δρόμων, εναέρια drones και άλλα σχετικά εξαρτήματα, όλα μέσα σε ένα εξαιρετικά γρήγορο χρονικό πλαίσιο ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η πιθανή εμφάνιση αυτόνομων τρένων, φορητών παράδοσης, ακόμη και αεροπλάνων είναι μια προοπτική που μπορεί να υλοποιηθεί στο εγγύς μέλλον.

Η έλευση της τεχνολογίας 5G Wireless είναι έτοιμη να καταλάβει μια κομβική θέση σε μια διευρυνόμενη σειρά τεχνολογιών ηλεκτρονικών ειδών ευρείας κατανάλωσης και εταιρικών οντοτήτων, προκαλώντας έτσι μια βαθιά μεταμόρφωση στους θεμελιώδεις μηχανισμούς με τους οποίους οι βιομηχανίες εμπλέκονται σε εμπορικές δραστηριότητες. Η έλευση της ασύρματης τεχνολογίας 5G θα δώσει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να τοποθετηθούν επωφελώς εν μέσω της ραγδαίας επέκτασης, διασφαλίζοντας έτσι την ικανοποίηση των ενδιαφερομένων τους, συμπεριλαμβανομένων των επενδυτών, των πελατών και των εργαζομένων. Το επικείμενο μέλλον υπόσχεται τεράστια υποσχέσεις για το επιχειρηματικό τοπίο, παρουσιάζοντας μια σειρά από σαγηνευτικές προοπτικές, μαζί με τρομερά εμπόδια και πιθανούς κινδύνους (Osman et al., 2022).

Βιβλιογραφία

Ali, H., Tariq, U. U., Liu, L., Panneerselvam, J., & Zhai, X. (2019, August). Energy optimization of streaming applications in IoT on NoC based heterogeneous MPSoCs using re-timing and DVFS. In *2019 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCOM/IOP/SCI)* (pp. 1297-1304). IEEE.

Al-Turjman, F., Ever, E., & Zahmatkesh, H. (2018). Small cells in the forthcoming 5G/IoT: Traffic modelling and deployment overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(1), 28-65.

Bairagi, A. K., Munir, M. S., Alsenwi, M., Tran, N. H., Alshamrani, S. S., Masud, M., ... & Hong, C. S. (2020). Coexistence mechanism between eMBB and uRLLC in 5G wireless networks. *IEEE Transactions on Communications*, 69(3), 1736-1749.

Broy M, Kargermann H, Achatz R. (2010). *Agenda cyberphysical systems: outlines of a new research domain*. Berlin: Acatech

Challita, U., Hiltunen, K., & Tercero, M. (2019, September). Performance evaluation for the co-existence of eMBB and URLLC networks: Synchronized versus unsynchronized TDD. In *2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)* (pp. 1-6). IEEE.

Chung, J. J., & Kim, H. J. (2020). An automobile environment detection system based on deep neural network and its implementation using IoT-enabled in-vehicle air quality sensors. *Sustainability*, 12(6), 2475.

Gilchrist, (2016) *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Bangken, Nonthaburi, Thailand: Alasdair Gilchrist.

Gohar, A., & Nencioni, G. (2021). The role of 5G technologies in a smart city: The case for intelligent transportation system. *Sustainability*, 13(9), 5188.

Gupta, Akhil. (2015). A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. *Access, IEEE*. 3. 1206-1232.

Gupta, R., Tanwar, S., & Kumar, N. (2021). Blockchain and 5G integrated softwarized UAV network management: Architecture, solutions, and challenges. *Physical Communication*, 47, 101355.

Hayat, S., Bettstetter, C., Fakhreddine, A., Muzaffar, R., & Emini, D. (2019, June). An experimental evaluation of LTE-A throughput for drones. In *Proceedings of the 5th Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications* (pp. 3-8).

Hermann M, Pentek T, Otto B. (2015). *Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review*

http://www.snom.mb.tudortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/DesignPrinciples-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf.

Kagermann H, Helbig J . (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*.

Kamaruddin, N., & Wahab, A. (2020). Effective tocotrienol dosage traceability system using blockchain technology. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(4), 1670-1676.

Khan, B. S., Jangsher, S., Ahmed, A., & Al-Dweik, A. (2022). URLLC and eMBB in 5G Industrial IoT: A survey. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 3, 1134-1163.

Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S. (2018). 5G Internet of Things: A survey. *Journal of Industrial Information Integration*, 10, 1-9.

Lu, Y., & Ning, X. (2020). A vision of 6G–5G's successor. *Journal of Management Analytics*, 7(3), 301-320.

Mahdi, M. N., Ahmad, A. R., Qassim, Q. S., Natiq, H., Subhi, M. A., & Mahmoud, M. (2021). From 5G to 6G technology: meets energy, internet-of-things and machine learning: a survey. *Applied Sciences*, 11(17), 8117.

Mustafa, A. S., Al-Mashhadani, M. A., Jasim, S. A., Shantaf, A. M., & Hamdi, M. M. (2022). Blockchain in fifth-generation network and beyond: a survey. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(3), 1399-1408.

Osman, O. M., Kanona, M. E. A., Hassan, M. K., Elkhair, A. A. E., & Mohamed, K. S. (2022). Hybrid multistage framework for data manipulation by combining cryptography and steganography. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(1), 327-335.

Panwar, N., Sharma, S., & Singh, A. K. (2016). A survey on 5G: The next generation of mobile communication. *Physical Communication*, 18, 64-84.

Pereira AC, Romero F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Manufacturing Engineering Society International Conference 2017*(σσ. 1206–1214). MESIC 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain: Procedia Manufacturing 13.

Pisarov, J., & Mester, G. (2020). The impact of 5G technology on life in 21st century. *IPSI BgD Transactions on Advanced Research (TAR)*, 16(2), 11-14.

Porambage, P., Miche, Y., Kalliola, A., Liyanage, M., & Ylianttila, M. (2019, October). Secure keying scheme for network slicing in 5G architecture. In *2019 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)* (pp. 1-6). IEEE.

Sachs, J., Wikstrom, G., Dudda, T., Baldemair, R., & Kittichokechai, K. (2018). 5G radio network design for ultra-reliable low-latency communication. *IEEE network*, 32(2), 24-31.

Shrestha, R., Nam, S. Y., Bajracharya, R., & Kim, S. (2020). Evolution of V2X communication and integration of blockchain for security enhancements. *Electronics*, 9(9), 1338.

Siriwardhana, Y., Porambage, P., Ylianttila, M., & Liyanage, M. (2020). Performance analysis of local 5G operator architectures for industrial internet. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(12), 11559-11575.

Tomkos, I., Klonidis, D., Pikasis, E., & Theodoridis, S. (2020). Toward the 6G network era: Opportunities and challenges. *IT Professional*, 22(1), 34-38.

Umagiliya, T., Wijethilaka, S., De Alwis, C., Porambage, P., & Liyanage, M. (2021, December). Network slicing strategies for smart industry applications. In *2021 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)* (pp. 30-35). IEEE.

Wagner T. et al.(2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems. The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems (σσ. 125-131). *ScienceDirect, Procedia CIRP* 63.

Wang, W., Hoang, D. T., Hu, P., Xiong, Z., Niyato, D., Wang, P., ... & Kim, D. I. (2019). A survey on consensus mechanisms and mining strategy management in blockchain networks. *Ieee Access*, 7, 22328-22370.

Wood, L. (2021). Global Smart Cities Market Report 2020–2025: Analysis & Forecasts of Smart Transportation, Smart Buildings, Smart Utilities, Smart Citizen Services. 2020.

Xu, P. V. Klaine, O. Onireti, B. Cao, M. Imran, and L. Zhang, "Blockchain-enabled resource management and sharing for 6G communications," *Digital Communications and Networks*, vol. 6, pp. 261-269, 2020.

Yan, J., Liu, J., & Tseng, F. M. (2020). An evaluation system based on the self-organizing system framework of smart cities: A case study of smart transportation systems in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119371.